



Jani Kemppainen

**LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN ENERGIATALOUDELLISUUDEN
PARANTAMINEN JA INVESTOINTIEN KANNATTAVUUS VAASAN
SEURAKUNTAYHTYMÄN LEIRIKESKUKSISSA**

**LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN ENERGIATALOUDELLISUUDEN
PARANTAMINEN JA INVESTOINTIEN KANNATTAVUUS VAASAN
SEURAKUNTAYHTYMÄN LEIRIKESKUKSISSA**

Jani Kemppainen
Opinnäytetyö
Kevät 2011
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu



TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma, LVI-tekniikka

Tekijä: Jani Kemppainen

Opinnäytetyön nimi: Lämmitysjärjestelmien energiataloudellisuuden parantaminen ja investointien kannattavuus Vaasan seurakuntayhtymän leirikeskuksissa

Työn ohjaajat: Veli-Matti Mäkelä (OAMK), Pekka Pajuniemi (Insinööritoimisto Granlund Vaasa Oy)

Kevät 2011

Sivumäärä: 62 + 5 liitesivua

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä selvitettiin erilaisia lämmitystavavaihtoehtoja kolmeen Vaasan seurakuntayhtymän leirikeskukseen. Leirikeskusten energiataloudellisuuden ja ekologisuuden parantamiseen pyrittiin löytämään kustannustehokkaita vaihtoehtoja lämpöpumppu- ja aurinkolämmityksestä. Työn päätavoitteena oli selvittää kannattavuus hankkeelle, jossa siirytään öljylämmityksestä maalämpöön. Lisäksi tutkittiin erilaisten lämpöpumppujen kannattavuutta kahdessa sähkölämmitteisessä leirikeskuksessa. Laskelmiin otettiin myös yksi esimerkki aurinkolämmityksestä.

Työ aloitettiin laskemalla tilojen lämmityksen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmäkohtaiset energiankulutukset. Tässä vaiheessa työhön otettiin mukaan vielä öljylämmitteisen kohteen ilmanvaihdon perusparannus, koska energiansäästömahdollisuus lämmön talteenoton myötä oli suuri. Saatujen tietojen perusteella kullekin kohteelle valittiin joitakin ekologisia ja energiaa säästäviä lämmitysjärjestelmävaihtoehtoja, joiden kannattavuutta arvioitiin korottoman takaisinmaksuajan perusteella.

Nykyisillä öljyn ja sähkön hinnoilla öljylämmityksen vaihtaminen maalämmitykseen osoittautui erittäin kannattavaksi takaisinmaksuajan ollessa noin viisi vuotta, kun taas vuoden takaisilla energian hinnoilla takaisinmaksuaika on noin kaksinkertainen. Ilmanvaihtosaneeraus on järkevää tehdä maalämmitykseen siirtymisen yhteydessä, koska saneeraukselle saa todennäköisesti erittäin lyhyen takaisinmaksuajan. Öljylämmityksestä maalämpöön siirryttäessä on oleellista pitää suoran sähkölämmityksen osuus niin pienenä kuin mahdollista lämmitysverkoston lämpötiloja laskemalla. Ilma-ilmalämpöpumput ovat kannattavia, kun sähköpatterilla lämmitetty tila on avara ja energiantarve on riittävän suuri. Ilma-vesilämpöpumppu-, maalämpöpumppu- ja aurinkolämmitysjärjestelmillä on melko pitkä, yli kymmenen vuoden takaisinmaksuaika.

Asiasanat:

Energiankulutus, energiansäästö, maalämpö, lämmitys

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 KOHTEET	7
2.1 Alskathemmet	7
2.2 Lepikko	9
2.3 Österhankmo	10
3 LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTA	12
3.1 Periaatteet	12
3.2 Kohteiden energiankulutus	16
3.2.1 Alskathemmet	16
3.2.2 Lepikko	19
3.2.3 Österhankmo	21
4 LÄMMITYSTAPAVAIHTOEHDOT	22
4.1 Lämpöpumput	22
4.1.1 Maalämpöpumppu	23
4.1.2 Ilmalämpöpumput	33
4.2 Aurinkolämmitys	37
4.3 Kohdekohtaiset lämmitysjärjestelmävaihtoehdot	43
4.3.1 Alskathemmet	43
4.3.2 Lepikko	46
4.3.3 Österhankmo	47
5 KUSTANNUSLASKELMAT JA TAKAISINMAKSUAJAT	48
5.1 Alskathemmet	48
5.2 Lepikko	49
5.3 Österhankmo	52
5.4 Energiatuki	53
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	54
7 YHTEENVETO	58
LÄHTEET	60
LIITTEET	
Liite 1. Alskathemmetin majoitusosan LTO:n hyötysuhde	
Liite 2. Alskathemmetin päärakennuksen LTO:n hyötysuhde	

Liite 3. Alskathemmetin maalämpöinvestoinnit

Liite 4. Alskathemmetin maalämpöinvestointien takaisinmaksuajat

Liite 5. Sähkön ja öljyn hintojen vaikutus Alskathemmetin maalämmön takaisinmaksuaikaan

1 JOHDANTO

Vaasan seurakuntayhtymällä on haja-asutusalueella kolme leirikeskusta, joiden lämmöntuotannon energiataloudellisuutta ja ekologisuutta pyritään parantamaan. Tähän kannustaa myös kirkon oma ympäristöohjelma, jossa ympäristöä ja energiaa säästävälle seurakunnille myönnetään ympäristödiplomi.

Työssä on mukana kaksi 1980-luvun alussa rakennettua leirikeskusta, joista toinen on öljy- ja toinen sähkölämmitteinen. Uusin leirikeskus on valmistunut vuonna 2007, ja se lämpiää sähköllä.

Työn päätavoitteena on selvittää kannattavuus hankkeelle, jossa öljylämmitys korvataan maalämmöllä. Vanhan lämmitysjärjestelmän iän ja energiansäästöpotentiaalin kannalta aihe on ajankohtainen. Selvitettävänä on myös sähkölämmitteisten järjestelmien sähköntarpeen pienentäminen aurinkokennien ja erilaisten lämpöpumppujen avulla. Toisen vanhemman leirikeskuksen muuttamisesta sähkölämmitteisestä maalämpöjärjestelmään laaditaan kustannusarvio. Työssä selvitetään investointien takaisinmaksuajat, joiden perusteella voidaan arvioida hankkeiden kannattavuutta.

Kolmen leirikeskuksen keskenään erilaiset lämmitysjärjestelmät tuovat työhön haasteensa. Ratkaisuvaihtoehtoja on lukuisia, ja osa niistä rajataankin työn ulkopuolelle. Työssä selvitetään kohteisiin mahdollisesti sopivien lämmitystapavaihtoehtojen toimintaperiaatteet pääpiirteittäin ja niiden energiansäästön suuruusluokka sekä laaditaan kannattavuusarviot.

2 KOHTEET

Työssä tutkitaan kolme leirikeskusta, joissa jokaisessa on omat erityispiirteensä. Jokaisessa leirikeskuksessa on useita rakennuksia, mutta aiheen rajaamiseksi pienet sivurakennukset on jätetty työn ulkopuolelle.

2.1 Alskathemmet

Alskathemmet on vuonna 1980 valmistunut leirikeskus, joka sijaitsee Mustasaaren kunnassa meren rannalla. Tämä leirikeskukseen kuuluu kolme erillistä rakennusta. Päärakennus on kooltaan 700 m². Siinä sijaitsevat keittiö, ruokala, kokoontumistilat ja muita yleisiä tiloja. Päärakennuksen yhteydessä on myös talonmiehen asunto. Sivurakennuksessa on majoitus- ja peseytymistilat, joiden pinta-ala on 570 m². Lisäksi rannassa on erillinen 84 m²:n saunarakennus.

Leirikeskus on käytössä ympäri vuoden, ja vierailijoita vuositasolla on yhteensä noin 7 000. Öljynkulutus on ollut vuoteen 2010 asti noin 38 m³ vuodessa, mutta kulutusluku pienenee tulevaisuudessa majoitusrakennukseen tammikuussa 2010 valmistuneen ilmanvaihtoremontin energiansäästön myötä. Vettä leirikeskuksessa kuluu noin 500 m³ vuodessa.

Lämmitys

Kohteessa on öljylämmitys, joka palvelee sekä pää- että sivurakennuksen lämmitystä ja ilmanvaihtoa. Pää- ja sivurakennusten lämmönjako on toteutettu vesikiertoisilla pattereilla, jotka ovat alkuperäisiä. Patteriverkostot ja patterit on huuhdeltu vuonna 2001 ja pattereihin on tällöin asennettu myös uudet termostaattiset patteriventtiilit. Lämmitysverkostojen meno- ja paluuveden lämpötilat on luettu -11 °C:n ulkolämpötilassa, ja tämän perusteella patteri- ja ilmanvaihtoverkostojen lämpötilaohjelma on 80/60 °C.

Majoitusrakennukseen lämpö tuodaan maan alla olevilla putkilla päärakennuksessa sijaitsevasta lämmönjakohuoneesta. Majoitusosan lämmitys on ja-

ettu kahteen piiriin. Päärakennuksessa on omat lämmityspiirinsä yleisille tiloille ja asunnolle.

Ilmanvaihto

Päärakennuksessa on yksi tuloilmakone, jonka lämmittimenä toimii vesipatteri. Poistoilmanvaihto on jaettu yhteensä yhdeksälle huippuimurille. Ratkaisu on energiataloudellisesti huono, koska lämpöä ei saada ilmanvaihdosta lainkaan talteen. Lämmön talteenottoa ei myöskään pystytä tällaiseen järjestelmään jälkikäteen kohtuullisin kustannuksin asentamaan. Päärakennuksen ilmanvaihtoa ei myöskään ole saatu säädettyä vaadittavalle tasolle yrityksistä huolimatta, ja kesällä päärakennuksen sisälämpötila nousee liian korkeaksi (1). Työhön onkin katsottu tarpeelliseksi ottaa mukaan myös päärakennuksen ilmanvaihdon perusparannus, jolla saavutettaisiin lämmön talteenoton ansiosta suuri energian säästö.

Sivurakennuksen ilmanvaihto on aikaisemmin hoidettu kahdella erillisellä tuloilmakoneella ja kolmella erillisellä huippuimurilla, eikä poistoilmasta ole otettu lämpöä lainkaan talteen. Rakennuksen ilmanvaihtoon on kuitenkin tehty tammikuussa 2010 valmistunut saneeraus, jossa vanhat ilmanvaihtokoneet ja huippuimurit on korvattu yhdellä nykyaikaisella tulo- ja poistoilmakoneella. Uuteen ilmanvaihtokoneeseen sisältyy lämmöntalteenotto, joka jo itsessään parantaa ilmanvaihdon energiatehokkuutta merkittävästi ja pienentää hieman huipputehontarvetta alkuperäiseen ratkaisuun verrattuna. Ainoastaan likaisten tilojen poistoilmanvaihto toimii edelleen huippuimurilla.

Lämmin käyttövesi

Aikaisemmin öljyllä lämmitetty käyttövesi on muutettu vuonna 2006 sähkölämmitteiseksi ilmeisesti öljylämmityksen vuosihyötysuhteen parantamiseksi. Kaksi rinnankytkettyä 500 litran lämminvesivaraajaa tuottavat pää- ja majointusrakennuksen lämpimän käyttöveden. Keskitetyn järjestelmän vuoksi lämpimässä käyttövedessä on oltava kierto, joka takaa kohtuullisen lämpimän

veden odotusajan. Varaajien yhteisteho on 12 kW, ja ne sijaitsevat lämmönjakohuoneessa.

2.2 Lepikko

Lepikon leirikeskus on valmistunut vuonna 1983. Se sijaitsee noin 0,5 kilometrin päässä Alskathemmetistä meren rannalla. Kiinteistöihin kuuluvat 970 m²:n päärakennus ja rannassa sijaitseva 176 m²:n saunarakennus. Päärakennuksen yhteydessä on talonmiehen asunto. Toimintaa leirikeskuksessa on ympäri vuoden ja kävijöitä on vuosittain noin 8 000. Päärakennukseen on tehty vuonna 2003 laaja peruskorjaus, jossa on uusittu muun muassa keittiö, valaistus, majoitushuoneiden sähköpatterit, ilmanvaihtoa ja palotekniikkaa. Lisäksi rakennusautomaation käyttöönotolle on asennettu valmiudet. Kokonaissähkönkulutus on noin 310 000 kWh vuodessa.

Lämmitys

Leirikeskuksen tarvitsema lämpö tuotetaan kokonaan sähköllä. Päärakennuksen tilat lämmitetään suoraan sähköpattereilla, joiden yhteisteho on 42,5 kW.

Ilmanvaihto

Ilmanvaihto on jaettu yhdelle suurelle ja kolmelle pienelle ilmanvaihtokoneelle, joissa on lämmöntalteenotot. Lisäksi keittiölle on oma tuloilmakone ja huippuimuri, jossa ei ole lämmön talteenottoa. Ilma lämmitetään sähköpattereilla.

Lämmin käyttövesi

Lämpimän käyttöveden tuotanto on hajautettu ja lämminvesivaraajia on päärakennuksessa yhteensä kolme. Asuntoa palvelee noin 300 litran varaaja, jossa on 3 kilowatin sähkövastus. Yleisten tilojen varaajat ovat kooltaan noin 400 ja 1 000 litraa ja lämmitystehoiltaan 6 ja 10 kW. Kaikki varaajat ovat al-

kuperäisiä eli iältään noin 27 vuotta vanhoja. Leirikeskuksen veden kulutus on noin 580 m³ vuodessa.

2.3 Österhankmo

Uusin ja suurin leirikeskuksista on Österhankmo, joka on valmistunut vuonna 2007. Myös tämä leirikeskus sijaitsee meren läheisyydessä. Tontilla on pinta-alaa 18,3 ha. Toimintaa on neljässä rakennuksessa, joista tähän työhön otetaan mukaan vain päärakennus. 1 271 m²:n päärakennuksessa on muun muassa sakraalitila, luokahuone, suuri aula, ruokala ja keittiö. Päärakennuksessa sijaitsee myös 16 majoitushuonetta, joissa jokaisessa on oma pesuhuone. Vuotuinen vierailijamäärä on noin 10 000 henkilöä, ja toiminta on ympärivuotista.

Lämmitys

Lämmitys on toteutettu pääasiassa pattereilla suoralla sähkölämmityksellä. Aulassa, majoitushuoneiden pesuhuoneissa ja sakraalitilassa on kuitenkin sähköllä toimiva lattialämmitys. Rakennuksen tehontarve on 75,2 kW, joka on saatu laskemalla kaikkien pattereiden ja lattialämmitysten tehot yhteen.

Ilmanvaihto

Päärakennuksessa on neljä tulo-/poistoilmanvaihtokonetta, joissa kaikissa on lämmöntalteenotto. Keittiötä sen sijaan palvelevat erilliset tuloilmakone ja huippuimuri, jotka eivät sisällä lämmön talteenottoa. Lisäksi likaisille tiloille on kaksi pientä huippuimuria. Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutusta ei ole laskettu tälle kohteelle, koska ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantamiseksi ei ole taloudellisesti kannattavia keinoja.

Lämmin käyttövesi

Leirikeskuksen veden kulutus on kokonaisuudessaan noin 740 m³ vuodessa. Tästä määrästä päärakennuksessa voidaan arvioida käytettävän 700 m³ ja loppu kuluu kerho- ja varastorakennuksissa, joissa veden käyttö on vähäistä.

Päärakennuksen lämmin käyttövesi tuotetaan yhdessä lämminvesivaraajas-
sa, jonka tilavuus on 1 500 litraa ja lämmitysteho yhteensä 27 kilowattia.
Lämpimässä vedessä on kierto.

3 LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTA

3.1 Periaatteet

Lämmitysjärjestelmiin kuuluvat tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmitys. Kunkin järjestelmän tehontarve ja energiankulutus on selvitettävä. Koska yksittäisistä järjestelmistä ja laitteistoista ei ole saatavilla kulutustietoja, on lämpöenergian määrä arvioitava laskemalla.

Lämmitys

Öljylämmityskohteessa lämmityksen ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu vuotuinen ostoenergiankulutus voidaan laskea öljynkulutuksen perusteella kaavalla 1 (2, s. 13).

$$Q_{\text{lämmitys, osto}} = PA_{\text{lämmitys, osto}} * Q_{\text{polttoaine, omin}} \quad \text{KAAVA 1}$$

$Q_{\text{lämmitys, osto}}$ = rakennuksien ostettavan lämmitysenergian kulutus, kWh

$PA_{\text{lämmitys, osto}}$ = rakennuksien ostettavaa lämmitysenergiaa vastaava polttoainemäärä

$Q_{\text{polttoaine, omin}}$ = käytetyn polttoaineen tehollinen lämpöarvo, kWh/polttoaineen mittayksikkö

Kun öljylämmityksen häviöt otetaan huomioon, lämmityksen ja ilmanvaihdon energiankulutus lasketaan ostoenergiankulutuksen perusteella kaavalla 2. Tässä tapauksessa käyttövesi lämmitetään sähköllä. (2, s. 13–14.)

$$Q_{\text{lämmitys} + IV} = Q_{\text{lämmitys, osto}} * \eta_{\text{lämmitys}}$$

KAAVA 2

$Q_{\text{lämmitys} + IV}$ = rakennuksen lämmityksen ja ilmanvaihdon energiankulutus, kWh

$Q_{\text{lämmitys, osto}}$ = rakennuksien ostettavan lämmitysenergian kulutus, kWh

$\eta_{\text{lämmitys}}$ = lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde

Ilmanvaihdon ja lämmityksen kuluttamat energiamäärät on erotettava kokonaiskulutuksesta. Lämmityspiirien vesivirrat sekä meno- ja paluuveden lämpötilaero mitoituslanteessa tiedetään. Näistä voidaan laskea lämmityksen tehontarve kaavalla 3, jonka perusteella saadaan laskettua konduktanssi eli lämmityksen ominaislämpöhäviöteho kaavalla 4.

$$\Phi_{\text{lämmitys}} = \rho_v q_v c_p (T_m - T_p)$$

KAAVA 3

$\Phi_{\text{lämmitys}}$ = lämmityksen tehontarve, kW

ρ_v = veden tiheys, kg/dm³

q_v = lämmityksen vesivirta, dm³/s

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C

T_m = lämmityksen menoveden lämpötila, °C

T_p = lämmityksen paluuveden lämpötila, °C

$$H = \frac{\phi}{(T_s - T_u)}$$

KAAVA 4

H = ominaislämpöhäviöteho, kW/°C

Φ = lämmityksen teho ulkoilman mitoituslämpötilassa, kW

T_s = rakennuksen sisälämpötila, °C

T_u = ulkoilman mitoituslämpötila, °C

Sähkölämmitteisissä kohteissa lämmöntarve saadaan laskemalla lämmityslaitteiden tehot yhteen. Näin saatu lämmöntarve on todennäköisesti hieman ylimitoitettu. Kaavaa 4 käyttämällä lasketaan rakennuksen ominaislämpöhäviöteho. Lämmityksen ominaislämpöhäviötehon ja astepäiväluvun kautta voidaan laskea vuotuinen lämmitysenergian määrä kaavalla 5.

$$Q_{\text{lämmitys}} = H * S_{17} * t$$

KAAVA 5

$Q_{\text{lämmitys}}$ = lämmityksen energiankulutus, kWh

S_{17} = paikkakunnan lämmitystarveluku, °Cd

t = aika, h/d

Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon vuotuinen lämmitysenergiankulutus lasketaan konekohtaisesti kaavalla 6 (2, s. 24.) Ilmanvaihtokoneiden on oletettu käyvän täydellä teholla, kun rakennuksessa on vieraita, ja olevan pysähdyksissä, kun vieraita ei ole. Käyntiajat on arvioitu toimintakertomusten pohjalta ja käytön on oletettu olevan tasaista ympäri vuoden.

$$Q_{\text{lämmitys,tuloilmapateri}} = \frac{\rho_i c_{pi} q_{v,tulo} t_d r t_v (T_{tulo} - T_u) \Delta t}{1000}$$

KAAVA 6

ρ_i = ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 Ws/kg°C

$q_{v,tulo}$ = tuloilmavirta, m³/s

t_d = IV-koneen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24 h

r = vuorokautisen käyntiajan huomioon ottava muuntokerroin

t_v = IV-koneen vuosittainen käyntiaikasuhde, vrk/365 vrk

T_{tulo} = tuloilman lämpötilan asetusarvo lämmityspatterin jälkeen, °C

T_u = ulkoilman vuotuinen keskilämpötila, °C

Δt = ajanjakson pituus, h

1 000 = laatumuunnoskerroin kilowattitunneiksi

Lämmin käyttövesi

Lämpimän käyttöveden energiankulutus voidaan laskea kaavalla 7. Kokonaisvedenkulutuksen perusteella voidaan laskea lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittu energiamäärä kaavalla 8. Työn ulkopuolelle jäävien rakennusten veden kulutus vähennetään veden kokonaiskulutuksesta. Lämpimän käyttöveden osuudeksi veden kokonaiskulutuksesta käytetään 40 %:a. Lisäksi energiankulutukseen täytyy ottaa huomioon kehitys-, kierto- ja varaajahäviöt, jotka saadaan kaavoilla 9, 10 ja 11. (2, s. 26, 30–32.)

$$Q_{lkv} = Q_{lkv, netto} + Q_{lkv, kehityshäviöt} + Q_{lkv, kiertohäviöt} + Q_{lkv, varaajahäviöt} \quad \text{KAAVA 7}$$

Q_{lkv}	= lämpimän käyttöveden kokonaisenergiankulutus
$Q_{lkv, netto}$	= käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia, kWh
$Q_{lkv, kehityshäviöt}$	= lämmönkehityslaitteiden lämpöhäviöenergia, kWh
$Q_{lkv, kiertohäviöt}$	= kiertojohdon lämpöhäviöenergia, kWh
$Q_{lkv, varaajahäviöt}$	= varaajien lämpöhäviöenergia, kWh

$$Q_{lkv, netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3\,600 \quad \text{KAAVA 8}$$

ρ_v	= veden tiheys, 1 000 kg/m ³
c_{pv}	= veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kWs/kg°C
V_{lkv}	= lämpimän käyttöveden kulutus, m ³
T_{lkv}	= lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
T_{kv}	= kylmän veden lämpötila, °C
3 600	= laatumuunnoskerroin kilowattitunneiksi, s/h

$$Q_{lkv, kehityshäviöt} = 1 \text{ kWh/brm}^2 * A_{br} \quad \text{KAAVA 9}$$

1 kWh/brm^2	= arvo, jota käytetään vuotuisen lämpöhäviöenergian määräksi rakennuksen bruttopinta-alaa kohti, ilman tarkempaa tietoa laitteen lämpöhäviöenergiasta
A_{br}	= rakennuksen bruttoala, brm ²

$$Q_{lkv, \text{kiertohäviöt}} = Q_{lkv, \text{kiertohäviöt,omin}} * A_{br} \quad \text{KAAVA 10}$$

$Q_{lkv, \text{kiertohäviöt,omin}}$ = lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämmityksen tarvitsema ominaislämpöenergia, kWh/brm²

$$Q_{lkv, \text{varaajahäviöt}} = \Phi_{\text{varaaja}} * t \quad \text{KAAVA 11}$$

Φ_{varaaja} = varaajan vaipan lämpöhäviöteho, kW

t = aika, h

Investointien koroton takaisinmaksuaika vuosina lasketaan kaavalla 12.

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \text{investointi €} / \text{säästö €/a} \quad \text{KAAVA 12}$$

3.2 Kohteiden energiankulutus

3.2.1 Alskathemmet

Lämmityksen ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu vuotuinen lämmityksen ostoenergiankulutus ennen saneerauksia voidaan laskea öljynkulutuksen perusteella kaavalla 1 (2, s. 13).

$$Q_{\text{lämmitys, osto}} = 38\,000 \text{ dm}^3 * 10 \text{ kWh/dm}^3 = 380\,000 \text{ kWh}$$

Rakennusten vuoden 2009 loppuun saakka käyttämä keskimääräinen lämmityksen ja ilmanvaihdon lämpöenergiankulutus lasketaan ostoenergiankulutuksen perusteella kaavalla 2. Öljylämmityksen vuosihyötysuhteena käytetään lukua 0,89. (2, s. 13–14.)

$$Q_{\text{lämmitys + IV}} = 380\,000 \text{ kWh} * 0,89 = 338\,200 \text{ kWh}$$

Lämmitys

Eri patteripiirien mitoitusastet on laskettu vanhojen suunnitelmien vesivirroilla ja 20 °C:n lämpötilaerolla. Lämmöntarpeet on koottu taulukkoon 1.

TAULUKKO 1. Lämmityspiirien vesivirrat, tehot ja vuotuiset energiankulutukset

LÄMMITYS	Piiri	q_v (l/s) ($\Delta T=20^\circ\text{C}$)	Mitoitusteho (kW)	Energia (kWh/a)
Päärakennus	Yleiset tilat	0,51	42,8	96 179
	Asunto	0,09	7,6	17 079
Sivurakennus	Siipi 1	0,30	25,2	56 629
	Siipi 2	0,12	10,1	22 697
	yhteensä	1,02	85,7	192 584

Laskettujen lämmöntarpeiden perusteella voidaan laskea rakennusten lämmityksen ominaislämpöhäviöteho, jonka avulla voidaan laskea taulukosta 1 löytyvä vuotuisen lämmitysenergian määrä kaavalla 5.

$$Q_{\text{lämmitys}} = 85,7 \text{ kW} / (20 - (-29))^\circ\text{C} * 4588^\circ\text{Cd} * 24 \text{ h/d} = 192\,584 \text{ kWh}$$

Ilmanvaihto

Edellä saatua vuotuista lämmitysenergian määrää täytyy korjata tulevia laskelmia varten. Huomioon on otettava majoitusrakennuksen perusrakennettu ilmanvaihto, joka ei aiemmin sisältänyt lainkaan lämmön talteenottoa, mutta uuden ilmanvaihtokoneen ja lämmön talteenoton myötä energiansäästö vanhaan järjestelmään verrattuna on merkittävä. Lisäksi katsotaan tarpeelliseksi ottaa laskelmiin mukaan myös päärakennuksen ilmanvaihdon perusrakenn-

nus, jolla saavutetaan lämmön talteenoton ansiosta vielä suurempi energian säästö kuin majoitusrakennuksen ilmanvaihtoremontilla.

Ilmanvaihdon alkuperäiset energiankulutukset taulukossa 2 on laskettu leirikeskusten käytön ja mitoitusilmavirtojen perusteella kaavalla 6. Lämmön talteenottojen energiansäästölaskennassa käytetyt hyötysuhteet on saatu ilmanvaihtokonevalmistajan mitoitusohjelmasta ja ne selviävät liitteistä 1 ja 2 (3).

TAULUKKO 2. Ilmanvaihtosaneerauksilla säästettävä lämmitysenergia

	Q _{IV} ennen saneerauksia kWh/a	Q _{IV} saneerauksen jälkeen kWh/a	Säästetty lämmitysenergia kWh/a
Päärakennus (ei toteutettu)	89 989	24 297	65 692
Majoitusrakennus (toteutettu)	54 672	18 042	36 630
Yhteensä	144 661	42 339	102 322

Nykyinen leirikeskuksen lämmitysenergiankulutus majoitusosan ilmanvaihtosaneeraus huomioiden on $338\,200\text{ kWh} - 36\,630\text{ kWh} = 301\,570\text{ kWh}$. Saa-
vutettava energiansäästö alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna on noin 11 %. Jos myös päärakennuksen ilmanvaihtoon tehdään perusparannus, läm-
mitysenergiankulutus laskee tasolle $301\,570\text{ kWh} - 65\,692\text{ kWh} = 235\,878\text{ kWh}$, joka on jo noin 30 % matalampi kuin alkuperäinen taso.

Lämmin käyttövesi

Lämpimän käyttöveden energiankulutus voidaan laskea kaavalla 7. Kokonaisvedenkulutuksen perusteella voidaan arvioida lämpimän käyttöveden

lämmittämiseen tarvittu energiamäärä kaavalla 8. Saunarakennuksen osuus veden kokonaiskulutuksesta arvioidaan 10 %:ksi. Saunarakennus ei kuulu tämän työn piiriin. Lämpimän käyttöveden osuudeksi veden kokonaiskulutuksesta käytetään 40 %:a. Lisäksi energiankulutukseen täytyy ottaa huomioon kehitys-, kierto-, ja varaajahäviöt, jotka saadaan kaavoilla 9, 10 ja 11. (2, s. 26, 30–32.)

$$Q_{lkv} = Q_{lkv, netto} + Q_{lkv, kehityshäviöt} + Q_{lkv, kiertohäviöt} + Q_{lkv, varaajahäviöt}$$

$$Q_{lkv, netto} = 1\,000\text{ kg/m}^3 * 4,2\text{ kWs/kg}^\circ\text{C} * 500\text{ m}^3 * 0,9 * 0,4 * (58-8)^\circ\text{C} / 3\,600\text{ s/h}$$

$$= 10\,500\text{ kWh}$$

$$Q_{lkv, kehityshäviöt} = 1\text{ kWh/brm}^2 * 1\,270\text{ brm}^2 = 1\,270\text{ kWh}$$

$$Q_{lkv, kiertohäviöt} = 15\text{ kWh/brm}^2 * 1\,270\text{ brm}^2 = 19\,050\text{ kWh}$$

$$Q_{lkv, varaajahäviöt} = 0,2\text{ kW} * 2 * 8\,760\text{ h} = 3\,504\text{ kW}$$

Kaavalla 7 laskettu lämpimän käyttöveden lämpöenergiankulutus on 34 324 kWh vuodessa.

3.2.2 Lepikko

Lämmitys

Lämmönluovuttimien yhteisteho on 42,5 kW. Tästä konduktanssin perusteella kaavalla 5 laskettu vuotuinen lämmitysenergian kulutus on 95 730 kWh.

Ilmanvaihto

Ilmanvaihdolle ei ole laskettu lämmitysenergian kulutusta. Ilmanvaihtokoneissa on lämmön talteenotot, joten koneille ei ole myöskään taloudellisesti kannattavaa energiansäästökeinoja.

Lämmin käyttövesi

Lämpimän käyttöveden lämmityksen energiantarve voidaan laskea kaavalla 7 lämpimän veden osuuden ollessa 40 % veden kokonaismäärästä. Saatu luku sisältää vain veden lämmitykseen käytetyn energian, joten siihen on lisättävä vielä kehitys- ja varaajahäviöt kaavoilla 9 ja 11. Lämpimän käyttöveden kiertoja kohteessa ei ole. Kokonaisenergiamäärä jaetaan varaajien kesken lämpimän käyttöveden normivirtaamien summan perusteella. Eri varaajien käyttöveden lämmittämiseen tarvittava kokonaisenergia selviää taulukosta 3.

TAULUKKO 3. Lämpimän käyttöveden energiantarpeen jakautuminen eri varaajille.

Varaajan sijainti	Lv:n normivirtaamien summa (l/s)	Tilavuus (dm ³)	Teho (kW)	Energian määrä (kWh/a)
Varasto 036	3,2	1 000	10	10 300
Varasto 052	0,8	400	4	4 400
Tk-varasto 010	0,5	300	3	3 400
Saunarakennus	1,6			6 300

3.2.3 Österhankmo

Lämmitys

Tilojen lämmöntarve on 75,2 kW, josta ominaislämpöhäviöksi tulee 1,53 kW/°C. Kaavalla 5 laskettu vuotuinen tilojen lämmitykseen käytettävä energiamäärä on 168 990 kWh.

Ilmanvaihto

Ilmanvaihdolle ei ole laskettu lämmitysenergian kulutusta. Ilmanvaihtokoneissa on lämmön talteenotot, joten koneille ei ole myöskään taloudellisesti kannattavaa energiansäästökeinoja.

Lämmin käyttövesi

Kokonaisenergiantarve käyttövedelle on kaavalla 7 laskettuna 39 122 kWh. Keskitetystä ratkaisusta johtuen lämpimässä käyttövedessä on oltava kierto, johon kuluu suuri osa käyttöveteen tarvittavasta energiasta.

4 LÄMMITYSTAPAVAIHTOEHDOT

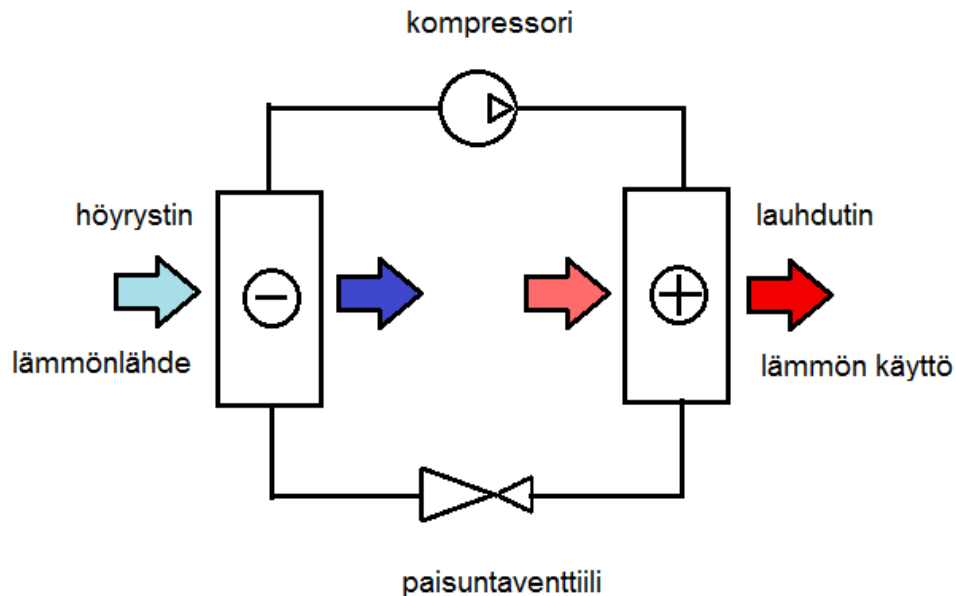
Erilaisten lämpöpumppujen käyttö lämmityksessä on lisääntynyt voimakkaasti 2000-luvulla. Tähän on johtanut pääasiassa öljyn ja sähkön korkeat ja noususuunnassa olevat hinnat, jotka pitänevät lämpöpumppujen suosiota yllä myös tulevaisuudessa. Myös lämpöpumppujen energiansäästöistä johtuva ympäristöystävällisyys on usein tärkeä valintaperuste. (4, s. 5.)

Lämpöpumppujen lisäksi työssä otetaan esille aurinkoenergian hyödyntäminen lämpimän käyttöveden lämmityksessä. Aurinkolämmitys on lähes saasteetonta ja hiilidioksidivapaata.

Edellä mainittuihin seikkoihin on kiinnitetty huomiota myös Vaasan seurakuntayhtymässä. Öljyn ja sähkön korvaamiseksi lämmityksessä on alettu miettiä vaihtoehtoja. Ympäristönäkökulma on vahvasti esillä, mutta korvaavien laitteiden on oltava myös taloudellisesti kannattavia.

4.1 Lämpöpumput

Lämpöpumpun toiminta perustuu suljettuun kylmäaineen kiertoprosessiin, jossa kylmäaine vuoroin höyrystyy ja lauhtuu. Ennen höyrystintä sijaitsevasa paisuntaventtiilissä kylmäaineen paine ja lämpötila laskee. Tämän jälkeen kylmäaine höyrystyy höyrystimessä ja sitoo itseensä samalla lämpöä ympäristöstään. Kompressorin puristaa kylmäainehöyryn korkeampaan paineeseen, jolloin höyryn lämpötila myös nousee. Lauhduttimessa höyry nesteytyy ja luovuttaa lämpöä kylmäainetta matalammassa lämpötilassa olevaan ympäristöön eli veteen tai ilmaan. Toimintaperiaate näkyy kuvassa 1. Lauhduttimesta hyödyksi saatava lämpö on lähellä höyrystimessä kylmäaineeseen sitoutuneen lämmön ja kompressorin tekemän työn summaa. (5, s. 10; 6, s. 377–378.)



KUVA 1. Lämpöpumpun periaatekaavio ja pääosat

Lämpöpumpun hyötysuhteesta käytetään nimitystä lämpökerroin. Se saadaan, kun jaetaan lauhduttimen tuottama lämpö laitteen kuluttamalla sähköenergian määrällä. Tämä koostuu kompressorin ja mahdollisten pumppujen, puhaltimien, sähkövastusten ja muiden apulaitteiden käyttämästä sähköstä. Laitteen lämpökerroin on sitä parempi, mitä korkeammassa lämpötilassa lämpöä saadaan kerättyä ja mitä matalammassa lämpötilassa lämpö saadaan luovutettua. (5, s. 224; 6, s. 378–379.)

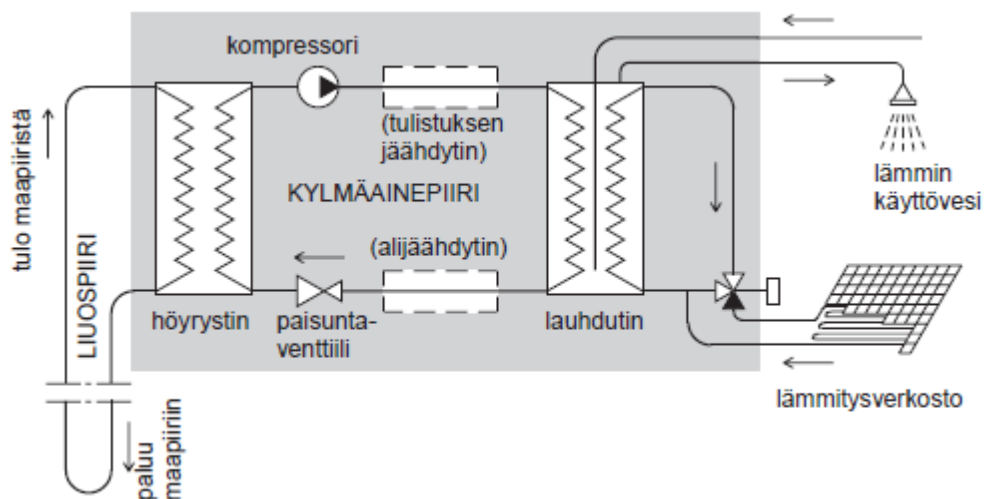
4.1.1 Maalämpöpumppu

Maalämmöllä tarkoitetaan maa- ja kallioperään sekä vesistöihin auringonpaisteen, lämpimän ilman ja sateiden välityksellä varastoitunutta auringoenergiaa. Jo muutama prosentti vuosittain maahan varastoituvasta auringon energiasta kattaisi vuotuisen lämmöntarpeemme. (7, s. 3.)

Maalämpöjärjestelmät ovat yleisimpiä pientaloissa, mutta myös suuriin rakennuksiin niitä on rakennettu yhä enenevässä määrin. Maalämpöpumppujärjestelmä on sitä kannattavampi, mitä suurempia rakennus ja energiankulu-

tus ovat. Maalämmityksestä saadaan suurin hyöty, kun lämmönjakotapa on mahdollisimman matalalämpötilainen, esimerkiksi lattialämmitys. (7, s. 2–3.)

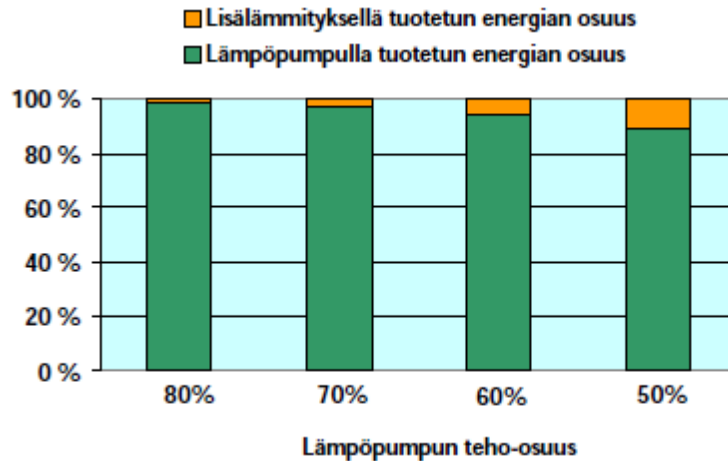
Maalämpöpumpussa lämpö kerätään matalasta lämpötilasta yleensä liuospiiriin eli suljetun muovisen keruuputkiston jäätymättömään liuokseen. Maalämpöpumpun höyrystimessä liuos luovuttaa lämpöenergiaa höyrystyvään kylmäaineeseen ja jäähtyy jälleen vastaanottamaan lämpöenergiaa maasta. Kylmäaine kulkee höyrystimeltä kompressorille, jossa kylmäainehöyry kuumenee käyttökelpoiselle lämpötilatasolle. Lauhduttimessa kuuma kylmäainekaasu nesteytyy ja luovuttaa lämpöenergiaa lämmitysjärjestelmän käyttöön. Paisuntaventtiilissä kylmäaineen paine ja lämpötila laskevat, jotta höyrystyminen ja energian sitoutuminen kylmäaineeseen taas mahdollistuu. Maalämpöpumpun toimintaperiaate selviää kuvasta 2. Maalämmitysjärjestelmään kuuluva lämmönkeruuputkisto voidaan sijoittaa kallioperään, maaperään tai vesistöön tai se voi olla myös näiden yhdistelmä. (7, s. 2.)



KUVA 2. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (7, s. 2)

Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa täys- tai osateholämpöpumpuksi. Täys-tehoinen lämpöpumppu mitoitetaan kattamaan kokonaan rakennuksen ja käyttöveden lämmöntarve aina ulkoilman mitoituslämpötilaan saakka. Näin lämpöpumpulla katetaan kokonaan vuotuinen energiantarve. Osatehoinen

laite mitoitetaan 50–70 %:iin huipputehon tarpeesta, jolloin lämpöpumpun tuottama lämpömäärä kattaa kuitenkin 85–98 % vuotuisesta energiantarpeesta (kuva 3) (9.)



KUVA 3. Lämpöpumpun teho-osuus ja lisälämmityksen tarve (4, s. 13)

Suurin osa laitevalmistajista suosittelee maalämpöpumpulle osatehomitoitusta. Perusteluina käytetään muun muassa

- pienempää ja halvempaa lämpöpumppua, joka tuottaa kuitenkin valtaosan energiasta
 - kompressorin pidempiä yhtäjaksoisia käyntiaikoja, jolloin käynnistyskerrat vähenevät, kompressori kestää kauemmin ja käy pidempiä jaksoja hyvällä hyötysuhteella
 - pienemmän kompressorin vuoden aikana säästämään sähköenergiaa, joka kattaa kovien pakkasten aikana kulutetun lisävastusten sähkön.
- (7, s. 5.)

Jotkut maalämpöpumppuvalmistajat puolestaan suosivat täystehomitoitettuja laitteita, joissa kompressorin käynnistyskerrat pysyvät harvoina suuren varaajan ansiosta, ja maalämpöpumppu käy pitkiä jaksoja hyvällä hyötysuhteella. Täystehoinen järjestelmä tulee hieman kalliimmaksi kuin osatehoinen, mutta sen suurena etuna on, että sähkövastuksia ei tarvitse käyttää lämmitykseen silloin, kun valtakunnan sähköverkko on jo valmiiksi kovimman kuormituksen alla. Täystehoisilla maalämpöpumpuilla vältetään myös turhaa

huippuvoimalaitosten käyttämistä, jotka tuottavat erittäin kallista ja runsaspäästöistä sähköä.

Lämmönkeruutavat

Maaperään asennettava vaakaputkisto kerää lämpöenergiaa tontin pinta- maasta. Lämmönkeruu perustuu pääosin maaperän jäätymislämmön hyväksikäyttöön, koska maalajin ominaislämpökapasiteetti vaihtelee 0,2–1,2 kWh/m³ °, mutta jäänmuodostuslämpömäärä voi olla jopa 90 kWh/m³ maalajista ja sen kosteuden mukaisesti (taulukko 4). Maaperän lämmönjohtavuus vaihtelee 0,5–3,25 W/m°C kosteuden ja maalajin mukaan. Maasta saatava keskiteho vaihtelee 5–15 W/putkimetri. Suunnitteluvaiheessa on siis tärkeää ottaa huomioon maaperän lämmönjohtavuus ja kosteuspitoisuus, jotka vaikuttavat olennaisesti putkiston mitoitukseen. Vaakaputkiston voi asentaa lähes kaikkiin maalajeihin lukuun ottamatta kuivaa hiekka- ja moreenimaata. Kosteaa savipitoinen maalaji on asennuspaikkana paras. (6, s. 385; 8, s. 13–14.)

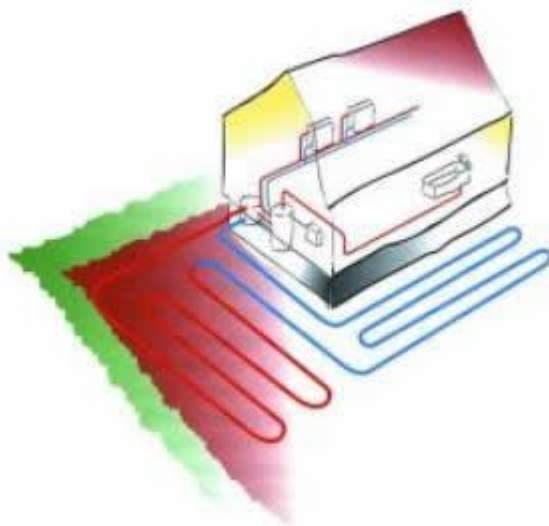
TAULUKKO 4. Maalajien jäänmuodostuslämpömäärät (8, s.14)

Maalaji	Maksimi, kWh/m ³	Minimi, kWh/m ³
Savi	70	55
Kuiva savi	45	30
Savinen siltti	55	45
Siltti	55	25
Hiekka	45	10
Moreeni	40	10
Turve	90	18

Maalämpöjärjestelmän suunnittelussa on tärkeää mitoittaa keruuputkiston pituus oikein ja tarkastaa tontin riittävyys. Liian pitkäksi mitoitetussa putkistossa investointi- ja pumppauskustannukset kasvavat turhaan. Alimitoitetulla putkistolla maaperän lämpötila laskee puolestaan liian matalaksi ja lämmön-

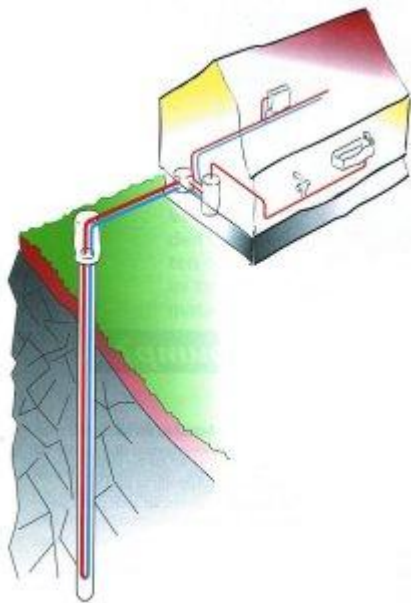
tuotto hiipuu. Karkeita ohjearvoja putkipituuksille ovat 1–2 metriä lämmitettyä rakennuskuutiometriä tai 3–10 metriä lämmitettyä rakennusneliömetriä kohden. Putkipituuden ylittäessä 400 metriä jaetaan lämmönkeruuputkisto tarvittavaan määrään rinnakkaisia lenkkejä, joiden pituus on enintään 400 metriä. Keruuputkien välin täytyy olla vähintään noin 1,5 metriä, joten putkimetri vaatii 1,5 m²:n pinta-alan. (4, s. 17; 7, s. 4.)

Suuren pinta-alatarpeen vuoksi vaakaputkisto sopii parhaiten pieniin maalämpöjärjestelmiin ja suurille tonteille (kuva 4). Vaakaputkisto asennetaan noin metrin syvyyteen, eikä se haittaa oikein mitoitetuna tontin kasvillisuutta. Vaakaputkiston asennuksessa on kiinnitettävä erityistä huomiota putkiston ilmattavuuteen. (4, s. 17; 7, s. 4.)



KUVA 4. Maaperään vaakasuoraan asennettu keruuputkisto (9)

Lämpökaivo on kallioperään pystysuoraan asennettu lämmönkeruujärjestelmä, jossa liuospiirillä kerätään kallioon ja pohjaveteen varastoitunutta lämpöä kiinteistön lämmittämiseen (kuva 5). Lämpökaivon perustamiskustannukset ovat suuremmat kuin maahan asennettavan järjestelmän, mutta etuna on kuitenkin noin kaksinkertainen energiansaanto. Suhteellisesti kalteinta poraamisessa on pehmeän pintamaan osuus, joka joudutaan varustamaan suojaputkella. Suojaputki estää sekä kaivon seinämän sortumisen että pintaveden pääsyn suoraan pohjaveteen. (4, s.17–18.)



KUVA 5. Porakaivolla toteutettu lämmönkeruu (9)

Lämpökaivo voi olla niin sanotusti kuiva tai märkä. Kuivassa lämpökaivossa ei ole juurikaan pohjaveden liikettä, kun taas märässä kaivossa on runsas virtaus. Pohjaveden virtaus riippuu kallion rikkonaisuudesta. Märkä kaivo on parempi lämmöntuoton kannalta, eikä sitä tarvitse porata niin syväksi kuin kuivaa kaivoa. Pohjaveden virtausta ei kuitenkaan pysty etukäteen arvioimaan, joten suunnitteluvaiheessa kaivo on oletettava kuivaksi, jotta kaivosta tulee tarpeeksi syvä ja lämmöntuotto varmasti riittää. (4, s. 18.)

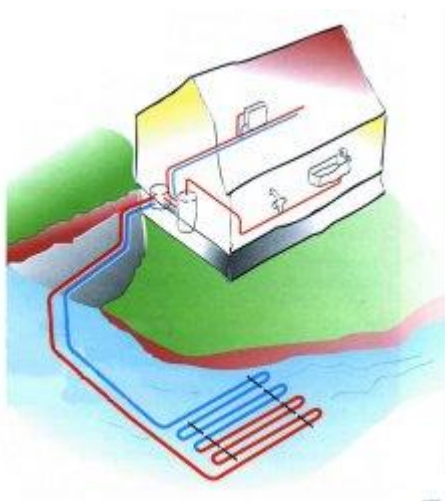
Lämpökaivo ei vaadi isoja kaivutöitä tontilla eikä paljoa pinta-alaa. Normaalin omakotitalon lämmöntuotantoon riittää yleensä yksi 100–200 metriä syvä kaivo. Kaivosta ei kannata tehdä yli 200 metriä syvää, koska putkilenkistä tulee muutoin liian pitkä ja pumppauskustannukset nousevat. Suuremmissa järjestelmissä täytyy porata useampia kaivoja, jotka kytketään rinnakkaisiksi putkilenkeiksi kytkentäkaivossa. Kaivojen etäisyys toisistaan täytyy olla vähintään 15 metriä. Lämpökaivon hyödynnettäväksi kelpaava osa eli tehollinen syvyys on kaivon vedellä täyttynyt osuus. Vettä kevyemmät putket upotetaan riittävän painon avulla alas. Lämpö voidaan kerätä kaivosta 2-, 3- tai 4-putkijärjestelmällä. 2-putkijärjestelmässä lämmönkeruuliuos kiertää silmu-

kassa alas ja takaisin ylös. 4-putkijärjestelmässä on kaksi rinnan kytkettyä silmukkaa. 3-putkijärjestelmässä liuos menee kahta putkea pitkin alas ja palaa yhtä putkea pitkin ylös. Käyttövettä ei lämpökaivosta voi ottaa sen lämmöntuottoa vaarantamatta. (7, s. 3.)

Vaikka lämpökaivojärjestelmä on perustuskustannuksiltaan muita lämmönkeruujärjestelmiä kalliimpi, on sen etuja

- kesäaikaisen jäähdytyksen mahdollisuus
- routimattomuus
- helppo ilmattavuus.

Vesistöön upotettu lämmönkeruuputkisto sijoitetaan järven, lammen tai meren pohjaan kuten maaperään eli vaakasuoraan (kuva 6). Putkiston asentamista jokivesiin tulee välttää, koska on suuri riski, että jäät rikkovat putkiston. Veden syvyyden olisi oltava jo rannan tuntumassa vähintään kaksi metriä ja vesistön syvyyden muuten vähintään kolme metriä, jotta putkien johtaminen veteen onnistuisi routarajan alapuolelta ja jotta jäät eivät rikkoisi putkistoa. Matalassa rannassa putket täytyy kaivaa pohjaan, mikä nostaa kustannuksia. Jos putket halutaan upottaa vesistöön, tarvitaan siihen vesialueen omistajan lupa. (7, s. 4.)



KUVA 6. *Vesistöön upotettu lämmönkeruuputkisto* (9)

Vesistön tulisi sijaita mahdollisimman lähellä lämmitettävää rakennusta, jotta liuospiirin pumppauskustannukset eivät heikennä liikaa maalämpöpumpun kannattavuutta. Samassa kaivannossa sijaitsevat meno- ja paluuputki tulee eristää rakennuksesta rantaveteen saakka, ettei lämpö siirry kylmään maahan. (4, s. 19; 9.)

Vesistö on erittäin hyvä lämmönlähde. Vesistöstä saatava 40–50 watin teho putkimetriä kohden on parhaimmillaan moninkertainen maahan upotetusta vaakaputkistosta saatavaan tehoon verrattuna. Vesistöstä voidaan kerätä lämpöä arviolta 70–80 kWh putkimetriä kohden, veden jäätymisenergian ollessa 100 kWh/m³. (8, s. 18.)

Keruuputki jaetaan tarvittaessa kahdeksi tai useammaksi yhtä pitkäksi rinnakkaiseksi putkilenkiksi. Koska keruuputki on vettä kevyempää ja sen ympärille muodostuu jäätä, on putki ankkuroitava vesistön pohjaan metrin välein asennettavilla painoilla. (8, s. 18.)

Avoimessa järjestelmässä lämmön lähteenä käytettävä porakaivon tai vesistön vesi pumpataan suoraan höyrystimen läpi ja lasketaan +0,5–+1,0 °C:seen jäähtynyt vesi takaisin porakaivoon tai vesistöön. Järjestelmän tarkka seuranta on välttämätöntä, jotta vesi ei jäädy. Avoimen järjestelmän käyttö ei ole kovin yleistä. (8, s. 18; 9.)

Vaakaporauksella lämmönkeruuputket saadaan sijoitettua vesistön alla olevaan sedimenttikerrokseen, jonka lämpötila on suhteellisen korkea ja tasainen ympäri vuoden. Sedimenttikerroksen lämmön löydön teki Mateve Oy:n Mauri Lieskoski. Lämmön tehokkaaseen hyödyntämiseen Mateve Oy on kehittänyt uudentyyppisen Refla –lämmönkeruuputken (kuva 7). Tekniikkaa sovellettiin ensimmäistä kertaa vuonna 2008 Vaasan asuntomessualueella, jonka edustalla meri on matalaa ja pohjasedimentti paksua ja pehmeää. Tämän tekniikan haittapuolena on se, että keruuputkiston asentaminen on melko kallista. Vesistön pohjan tulisi olla myös pehmeää ja kivetöntä. (10; 11.)



KUVA 7. Refla-energiaputken rakenne ja toiminta (11)

Maalämpöpumpputyypit

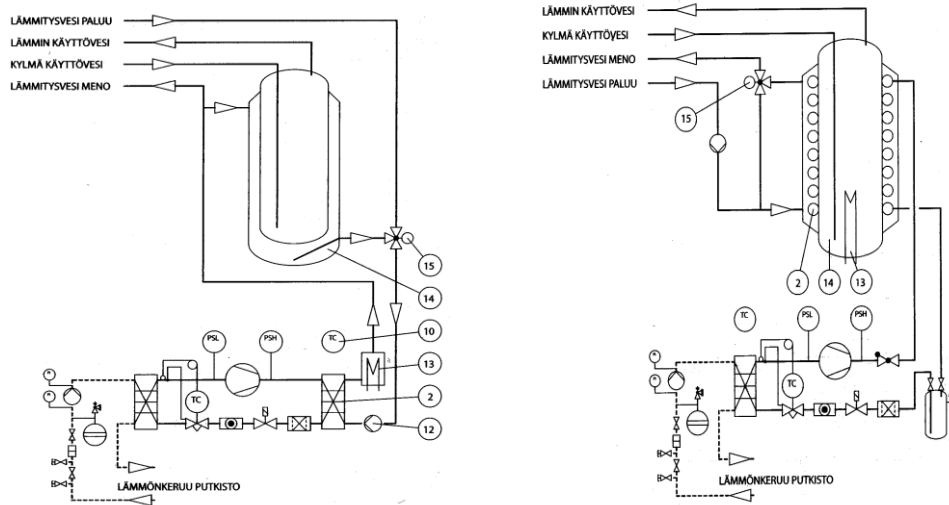
Maalämpöpumppu sisältää usein kylmäainepiirin komponenttien lisäksi lämmönkeruuputkiston ja lämmityspiirien pumput sekä lisä- ja varalämmityksen sähkövastuksen. Lämminvesivaraaja ja käyttöveden lämmitys ovat yleensä lämpöpumpun ulkopuolella. Suurimmat erot lämpöpumpputyypien välillä on siinä, miten lauhtumislämpö hyödynnetään. (5, s. 228–229.)

Pumpputyypin valinnassa täytyy huomiota kiinnittää lämpimän käyttöveden tarpeeseen. Runsas lämpimän veden käyttö edellyttää suurta varaajaa, kun taas kohtuulliseen käyttöön edullisin lämpö tuotetaan tulistuslämpöä hyödyntävällä lämpöpumpulla. (5, s. 228–229.)

Ruotsalaismallisessa lämpöpumpussa on käyttövesisäiliö, jonka vaipassa kiertää tarpeen mukaan lämpöpumpulla lämmitetty lämmitysverkoston vesi (kuva 8). Kiertovettä lämmitetään tarvittaessa lisää sähkövastuksella. Lämpöpumpun säätimen ensisijaisena tarkoituksena on pitää lämmin käyttövesi riittävän kuumana. Muulloin säädin ohjaa kompressorin, sähkövastuksen ja 3-tieventtiilin toimintaa lämmitystarpeen mukaan. Lämmitysveden kierto suositellaan asennettavaksi 100–300 dm³ suuruinen säiliö pidentämään kompressorin käyntiaikoja ja tasaamaan lämpötilan vaihteluja. (5, s. 230.)

Varaajamallisessa lämpöpumpussa lauhdutinputkisto sijaitsee käyttövesisäiliön vaipassa, jonka kautta kulkee myös lämmitysverkoston vesi (kuva 8).

Tässä ratkaisussa tulistuslämpö lämmittää varaajan yläosan kuumaksi. Käyttövesisäiliössä on myös sähkövastus lisälämmitystä ja laiterikkoa varten. (5, s. 231.)



KUVA 8. Ruotsalaismallinen (vas.) ja varaajamallinen maalämpöpumppu (5, s. 230–231)

Tulistuslämpöä lauhdelämmöstä on 15–20 %. Tällä vesi voidaan lämmittää jopa 80–85 °C:ksi. Tulistuslämmön erikseen hyödyntävässä lämpöpumpussa on kaksijakoinen lämmitysvesisäiliö, jonka yläosa lämmitetään kylmäaineen kuumalla kaasulla tulistuksen poistovaihtimella korkeampaan lämpötilaan. Kylmäaine kulkee sen jälkeen lauhduttimeen, jolla lämmitetään säiliön alaosaa. Lämmitysvesi kiertää tässä ratkaisussa säiliön alaosassa. Kierukassa kulkeva lämmin käyttövesi esilämmitetään säiliön lämpimässä alaosassa ja loppulämmitetään eli priimataan säiliön kuumassa yläosassa. Näin saadaan 10–15 % sähköenergian säästö verrattuna priimauksen tekemiseen sähköllä. (5, s. 231–232.)

Lämmin käyttövesi voidaan priimata sähköllä myös erillisessä varaajassa, jolloin lämpöpumppu hoitaa lämminvesisäiliön kautta lämmityksen ja käyttöveden esilämmityksen. Näin saadaan mahdollisimman matala lauhtumislämpö ja hyvä hyötysuhde. (5, s. 231–232.)

Lämpimän käyttöveden kiertoa pitäisi varaajien kanssa välttää. Suuremmissa kohteissa se on kuitenkin välttämätön, jolloin kiertojohto täytyy kytkeä niin,

ettei varaajan lämpökerrostumaa sekoiteta. Kiertojohtoon ei saa kytkeä kuivauspattereita tai muita lämmityslaitteita. (5, s. 233.)

4.1.2 Ilmalämpöpumput

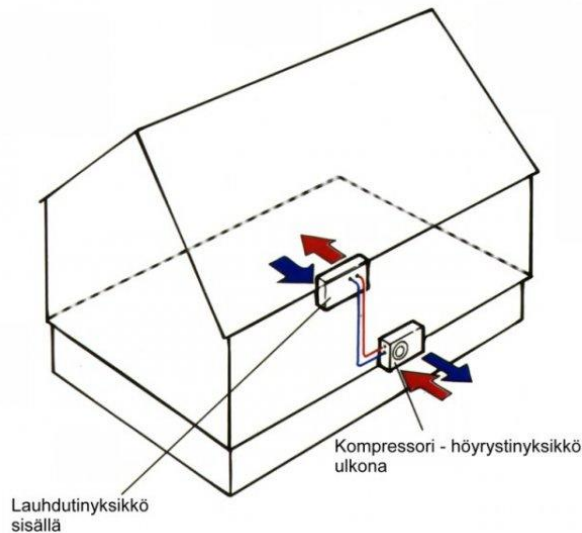
Tässä työssä ilmalämpöpumpuilla tarkoitetaan ulkoilmalämpöpumppuja, joissa höyrystin kerää energiaa ulkoilmasta ja lauhdutin luovuttaa lämmön veden tai suoraan sisäilmaan. Laitteet kehittyvät jatkuvasti ja nykyiset Ilmalämpöpumput pystyvät tuottamaan energiaa enemmän kuin kuluttavat jopa alle -20 °C:n lämpötilassa. Ulkoilmaa kylmempi alle 0 °C:n lämpötilassa oleva höyrystin aiheuttaa ilmankosteuden tiivistymistä höyrystinlämmönsiirtimen pinnoille, jolloin ulkoyksikkö jäätyy. Jäätyminen on voimakkainta ilman lämpötilan ollessa vähän 0 °C:n molemmiin puolin, koska silloin ilman kosteussäilytys on suuri. Sulatus tapahtuu sähkövastuksilla tai laitteen omalla kuumakaasulla. Kuumakaasusulatus on tavoista edullisempi. Sulatusjaksot pienentävät lämpöpumpun vuosihyötysuhdetta. (12.)

Ilma-ilmalämpöpumppu

Ilmaan lauhduttava ilmalämpöpumppu on muita lämmitystapoja täydentävä järjestelmä. Parhaiten se soveltuu suoran sähkölämmityksen tueksi. Se on yksinkertainen ja suhteellisen halpa laite, jonka takaisinmaksuaika on yleensä melko lyhyt. Sen vuoksi ilmalämpöpumppujen suosio on ollut 2000-luvulla suurta. Markkinoilla on ollut myös lämmityskäyttöön ja Suomen ilmaston sopimattomia laitteita. Nämä seikat on ehdottomasti varmistettava ennen ilmalämpöpumpun hankintaa. Laitteen asennus vaatii hyväksytyn kylmäasennusliikkeen, jollaisesta ilmalämpöpumpun hankinta kannattaa asennuksineen tehdä. (12.)

Ilma-ilmalämpöpumpun sisäyksikössä on lauhduttimena toimiva patteri, jonka kautta puhallin kierrättää sisäilmaa (kuva 9). Sisäyksiköjä voi olla monta yhtä ulkoyksikköä kohti, jolloin laitteistosta käytetään nimitystä multi-split. Lämpöpumpun kuumakaasu lauhtuu patterissa, ja höyrystimen ulkoilmasta keräämä lämpö siirtyy patterin läpi virtaavaan sisäilmaan. Puhaltimessa on yleensä monta nopeutta, joista pienimmät vähentävät vetoa ja puhallinääntä

silloin, kun lämmöntarve on pieni. Sisäyksikkö sisältää myös ilmansuodattimen, joka puhdistaa hieman sisäilmaa. Koska suodatin kerää sisäilman epäpuhtauksia, on se ajoittain puhdistettava hygienian ja ilman kierron varmistamiseksi.



KUVA 9. Ilma-ilmalämpöpumpun toimintaperiaate (13)

Ulkoyksikössä on kompressorin, höyrystinpatterin ja automatiikan ohjauslaitteita. Ulkoyksikön asennuksessa on tärkeä huomioida sulatusvesien poisjohdaminen, jottei muodostuva jää tuki veden poistoa tai aiheuta muuta haittaa. (12.)

Parhaiten ilma-ilmalämpöpumppu soveltuu suoraa sähkölämmitystä käyttävään rakennukseen. Pattereiden termostaatit säädetään lämmittämään muutamaa astetta alemmassa lämpötilassa kuin lämpöpumppu. Näin patterit lämmittävät vasta kun lämpöpumpun teho loppuu, ja aikaiseksi saadaan suurin energiansäästö. Ilmalämpöpumpusta saadaan suurin hyöty avarissa tiloissa, joihin lämpö pääsee leviämään tasaisesti. (12.)

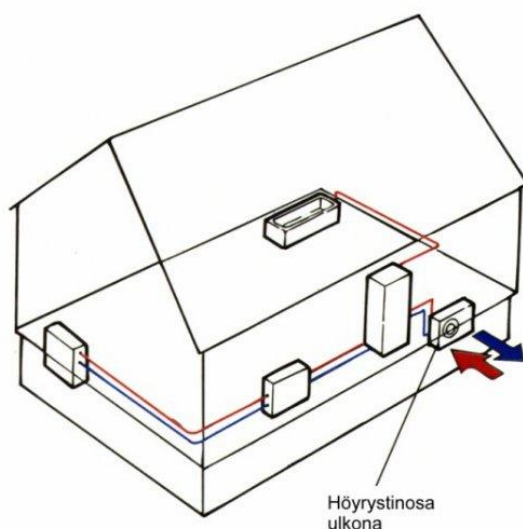
Ilma-ilmalämpöpumput soveltuvat usein myös tilojen viilentämiseen helteellä. Tämä onnistuu kääntämällä nelitieventtiilillä kylmäaineen virtaussuunta, jol-

loin sisäyksikkö toimii höyrystimenä jäähdyttäen sisäilmaa, ja ulkoyksikkö lauhduttimena poistaen lämmön ulos. Jäähdytystä tulee käyttää vain tarvittaessa, koska se kuluttaa sähköä. Tärkeää on myös varmistaa, ettei ilmalämpöpumppu jäähdytä lämmitystarpeen aikana. (12.)

Ilmalämpöpumppujen huono puoli on ulkoilman lämpötilan laskusta aiheutuva lämmitystehon ja hyötysuhteen lasku. Kovilla pakkasilla laitetta ei kannata enää käyttää, koska sen kuormitus kasvaa suureksi ja saatava hyöty on pieni. Tämän vuoksi rakennuksessa on oltava koko lämmöntarpeelle mitoitettu päälämmitysjärjestelmä. Sisä- ja ulkoyksikkö pitävät myös ääntä, jonka häiritsevyyteen voi vaikuttaa laitteiden sijoittelulla ja käytöllä. Ulkoyksikköä ei pidä asentaa tärinän vuoksi kiinteästi seinä rakenteisiin. (12.)

Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppu eroaa ilma-ilmalämpöpumpusta lähinnä siinä, että se luovuttaa lauhduttimessa lämmön lämmitysvaraajan veteen (kuva 10). Varaajasta lämpö jaetaan rakennukseen vesikiertoisella järjestelmällä. Lisäksi varaajassa lämmitetään käyttövesi. Kovalla pakkasella lämpöpumpun teho ei riitä kattamaan koko lämmöntarvetta tai se pysähtyy, jolloin lämpö tuotetaan sähkövastuksella.

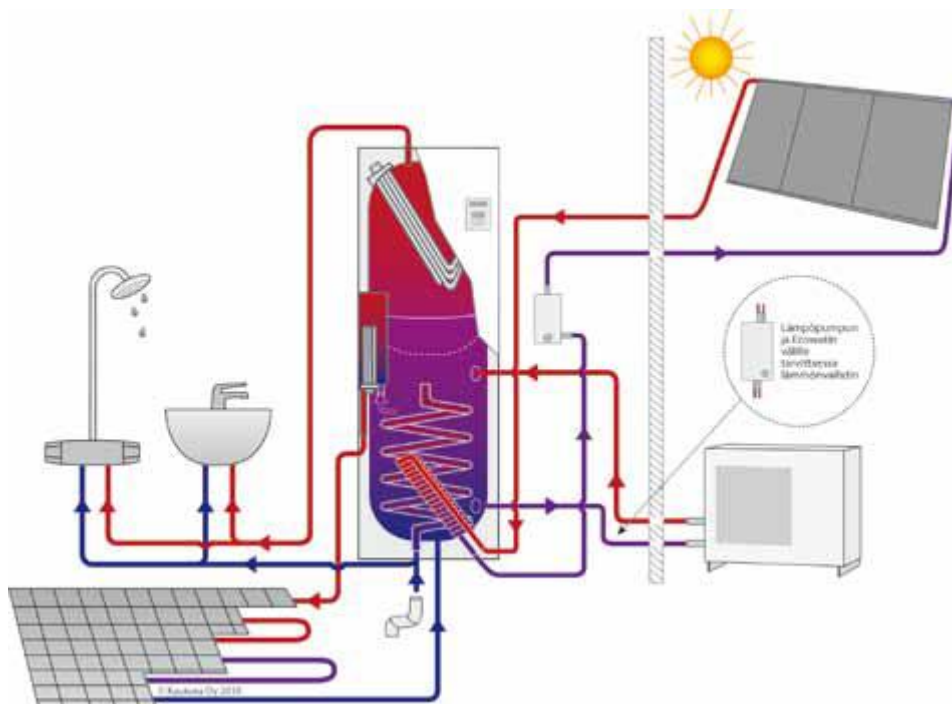


KUVA 10. Ilma-vesilämpöpumpun toimintaperiaate (14)

Ilma-vesilämpöpumpun energiansäästö pientalossa on noin 40–60 prosenttia suoraan sähkölämmitykseen verrattuna. Säästöön edullisesti vaikuttavat riittävän tehokas lämpöpumppu, matalalämpötilainen lämmönjakojärjestelmä ja leuto ilmasto. Hintatasoltaan ilma-vesilämpöpumppu on kalliimpi kuin ilmalämpöpumppu, mutta halvempi kuin maalämpö. (12.)

Markkinoilla on sekä kloorittomia hiilivetyjä eli HFC-yhdisteitä että hiilidioksidia kylmäaineena käyttäviä laitteita. Yleinen lämpöpumpuissa käytetty HFC-yhdiste on R407C. CO₂-ilma-vesilämpöpumppujen toimintakyky säilyy ja hyötysuhde pysyy korkeana matalammilla ulkoilman lämpötiloilla kuin HFC-kylmäaineilla toimivien lämpöpumppujen.

Hybridiratkaisussa ilma-vesilämpöpumppuun voidaan liittää aurinkokeräimet (kuva 11). Tällöin vuosihyötysuhde nousee, koska lämpöpumppua käytetään kesäaikana hyvin vähän. Sähkölämmitetyssä rakennuksessa varaajan lämpöä voidaan jakaa tiloihin vesikiertoisilla puhallinpattereilla.



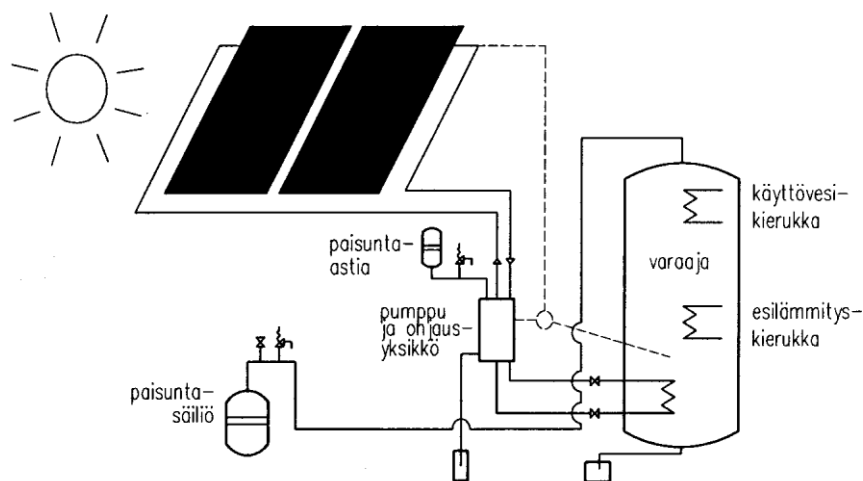
KUVA 11. Ilma-vesilämpöpumppu ja aurinkokeräimet (15)

4.2 Aurinkolämmitys

Auringosta maahan säteilevä energian määrä on suuri. Muutaman tunnin aikana maapallolle tuleva energiamäärä riittäisi hyvin kattamaan koko maailman vuotuisen energiantarpeen. Aurinkoenergian ongelmana on sen saannin epäsäännöllisyys, joka riippuu säästä, vuodenajasta ja maantieteellisestä sijainnista. (16, s. 10 ja 72.)

Maanpinnalle tuleva kokonaissäteilyenergia koostuu suorasta auringonsäteilystä, hajasäteilystä ja ilmakehän vastasäteilystä, joka voidaan sisällyttää hajasäteilyyn. Suora auringonsäteily tulee suoraan ilmakehän läpi maanpinnalle. Hajasäteily heijastuu maahan ilmakehän pilvistä ja molekyyleistä. Suomessa kokonaissäteilystä hajasäteilyä on noin puolet. Vaasassa vuotuisen auringon säteilyenergia vaakasuoralle pinnalle on noin 900 kWh/m^2 . (16, s. 12–13.)

Tässä työssä aurinkolämmityksellä tarkoitetaan aurinkolämmön aktiivista hyödyntämistä, jossa aurinkoenergiaa otetaan talteen nestekiertoisilla keräimillä (kuva 12). Keräimessä auringonsäteily muutetaan lämmöksi, joka siirtyy aurinkolämmitysjärjestelmässä kiertävään nesteeseen. Nesteen välityksellä lämpö siirretään yleensä varastoon esimerkiksi lämminvesivaraajaan. Yleisesti aktiivista aurinkolämmitystä käytetään pääasiassa lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Auringosta on mahdollista saada energiaa kevät- ja syysaikaan etenkin matalalämpötilaisiin lämmitysjärjestelmiin. Myös uima-altaita voidaan lämmittää aurinkolämmön avulla. (16, s. 72.)



KUVA 12. Nestekiertoisen aurinkolämmitysjärjestelmän periaate (16, s. 97)

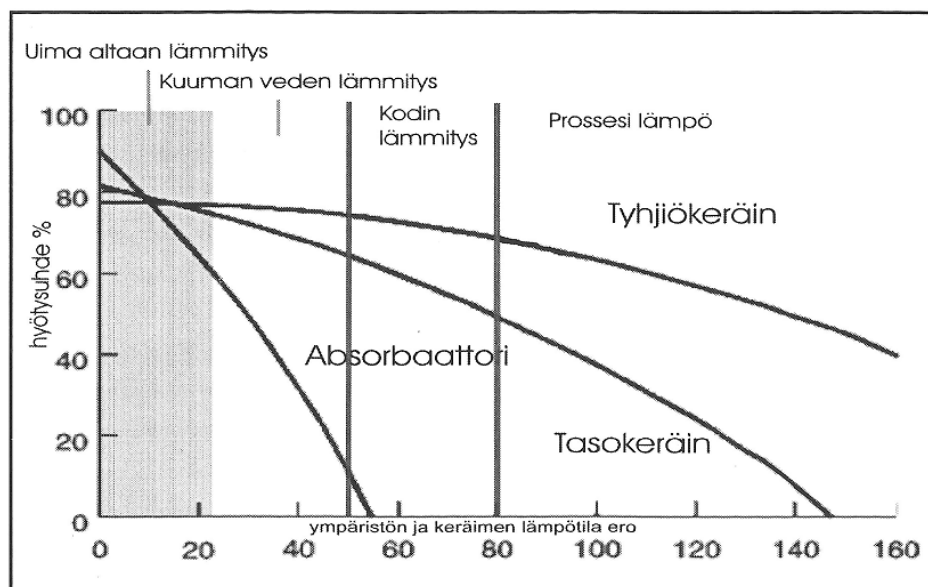
Leirikeskusten käyttö on ympärivuotista, mutta suurin käyttöaste on kuitenkin kesällä. Tämän tyyppisissä kohteissa aurinkolämmityksen edut korostuvat, sillä lämpimän veden käyttö on suurimmillaan silloin, kun hyödynnettävää energiaakin on eniten tarjolla. Oikein mitoitettulla keräinjärjestelmällä pystytään kattamaan valtaosa kesäajan lämpimän käyttöveden lämmitysenergian-tarpeesta.

Aurinkolämmitysjärjestelmä mitoittamisessa on tärkeää tietää tai arvioida energiankulutus tarkasti. Tämän perusteella voidaan valita parhaat keräin- ja varaajaratkaisut. Jos mitoittaminen tehdään tietokoneohjelmalla, saadaan siitä tarkasti koko vuoden energiatase. (16, s. 90.)

Aurinkokeräinten suuntaus perustuu kahteen kulmaan. Suuntauskulmalla tarkoitetaan keräimen poikkeamaa etelän suunnasta ja kallistuskulmalla keräimen pinnan ja vaakatason välistä kulmaa. Kun aurinko paistaa koh-

tisuoraan kerääjään, energiaa saadaan talteen tehokkaimmin. Auringon korkeus- ja suuntakulma vaihtelevat vuorokauden- ja vuodenaikojen mukaan. Keräimien suuntaus suunnitellaan kohteen käytön ja lämmöntarpeen mukaan. Paras asennussuunta on etelä. Koko vuoden tuottoa maksimoitaessa kallistuskulman tulee olla noin 45 astetta. Kesäajan tuoton saa suuremmaksi loivemmalla kallistuskulmalla. Jyrkempi kallistuskulma painottaa taas kevään ja syksyn lämmöntuottoa. Poikkeavilla kulmilla koko vuoden tuotto kuitenkin pienenee. (16, s. 83–84.)

Nestekiertoisten aurinkokeräinten kaksi päätyyppiä ovat taso- ja tyhjiöputki-keräimet. Tasokeräimet ovat tällä hetkellä yleisempiä, mutta tyhjiöputkikeräinten osuus on kasvamassa. Keräintyyppien lämmöntuotoissa ei ole kesäaikaan suuria eroja, mutta kylmempinä vuodenaikoina tyhjiöputkikeräimen lämmöntuotto on suurempi (kuva 13). On myös yksinkertaisia, kattamattomia keräimiä, joita kutsutaan absorbaattoreiksi. Niiden käyttö rajoittuu kuitenkin pääasiassa uima-altaiden lämmittämiseen. (16, s.73.)



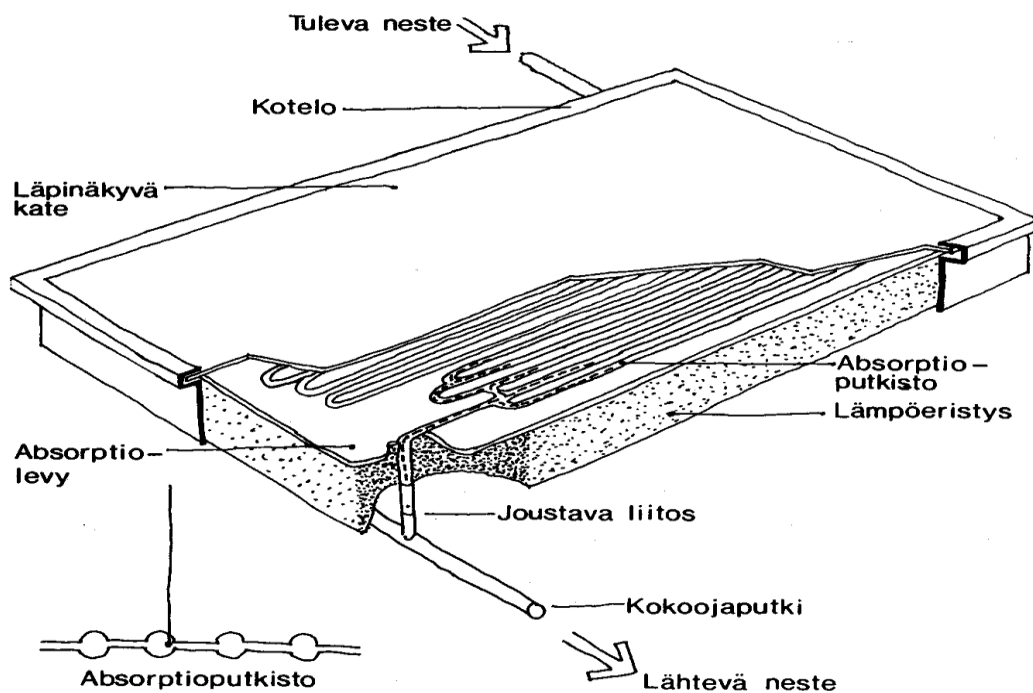
KUVA 13. Keräinten hyötysuhteet lämpötilaeron mukaan (16, s. 74)

Ympäri vuoden käytössä olevissa keräimissä lämmönsiirtonesteenä on käytettävä jäätymätöntä liuosta, jossa veteen sekoitetaan jäänestoainetta. Tällöin kuitenkin pumpattavuus ja lämmönsiirtokyky huononevat pelkkään veteen verrattuna. (16, s. 76.)

Jotta aurinkolämmitysjärjestelmän hyötysuhde pysyisi mahdollisimman korkeana, tulisi lämpövaraston ja keräinten väliset siirtojohdot pitää mahdollisimman lyhyinä. Suurissa kohteissa siirtojohtojen määrää pienentävät suurkeräimet. Tällöin myös lämpöhäviöitä aiheuttavien keräinten reunojen määrä vähenee ja hyötysuhde kasvaa. Siirtojohtojen täytyy olla hyvin eristettyjä lämpöhäviöiden pienentämiseksi. Korkean varaajan lämpötilakerrostuman ansiosta alaosan viileämpää vettä voidaan lämmittää aurinkolämmöllä tehokkaasti ja hyvällä hyötysuhteella. Keräinten asennuspaikan tulisi olla myös mahdollisimman lämmin, tuuleton ja varjoton. (16, s. 80–81, 83, 85.)

Tasokeräimet

Tasokeräimet ovat tavallisesti pohjastaan eristettyjä matalia laatikoita (kuva 14). Eristeen päällä oleva tumma ja levymäinen keräinelementti absorboi auringonsäteilyä ja kuumenee. Keräinelementissä on sisäinen virtauskanavisto tai elementin päälle on hitsattu putkisto, jossa virtaavaan nesteeseen syntynyt lämpö siirtyy. Keräimessä on lisäksi selektiivinen kate, joka päästää valonsäteilyn keräimen sisään, mutta estää lämpösäteilyä pääsemästä ulos. Kate on tavallisesti karkaistua lasia. (16, s. 73–75.)

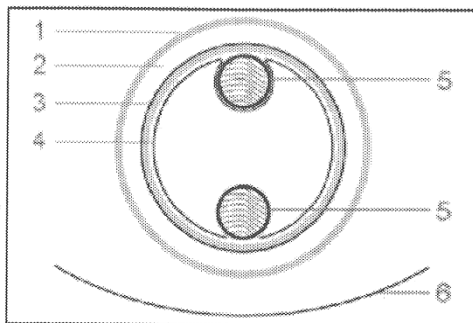


KUVA 14. Tasokeräimen rakenne (16, s. 74)

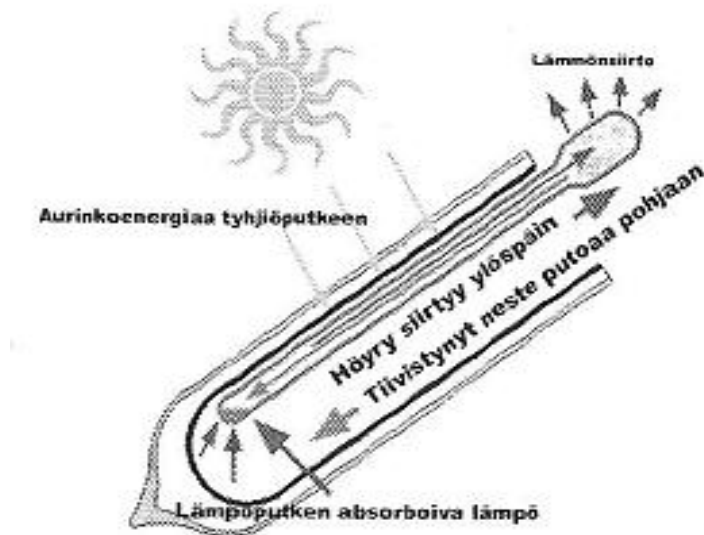
Tyhjiöputkikeräimet

Tyhjiöputkikeräimet muodostuvat useista lasiputkista, joissa myös lämpöä keräävä pinta on putkimaisessa muodossa. Keräimen putket sisältävät nimensä mukaisesti tyhjiön, joka toimii hyvänä eristeenä lämmenneen nesteen ja ulkoilman välillä. Tyhjiön lämmöneristys perustuu siihen, että konvektiolämmönsiirto on erittäin pientä. Tyhjiöputkikeräinten hyötysuhde pysyy korkeana myös silloin, kun lämmönsiirtonesteen ja ilman lämpötilan ero kasvaa suureksi. Keräimen tehokkuutta voidaan nostaa peileillä, jotka keräävät auringonsäteilyä laajemmalla alalla ja kohdistavat säteilyn putkien absorbaattoripintoihin. (16, s. 73, 81–82.)

Tyhjiöputkia on kahta tyyppiä. Perinteisessä ratkaisussa lämmönsiirtoneste kiertää putkessa absorbaattoripinnan alla tyhjiöputken sisällä (kuva 15). Toisessa mallissa tyhjiöputken sisällä on erillinen "heat-pipe"-lämpöputki (kuva 16), jonka sisällä oleva neste sitoo lämpöä ja höyrystyy. Höyry nousee ylös lämmönsiirtimeen, jossa höyry lauhtuu nesteeksi ja luovuttaa lämmön lämmönsiirtonesteeseen. (16, s. 82.)



KUVA 15 Perinteisen tyhjiöputken poikkileikkaus. 1. ulkolasisseinä 2. tyhjiö 3. musta pinta 4. sisälasisseinä 5. U-muotoinen kupariputki 6. auringonsäteilyä kokoava peili (16, s. 72)



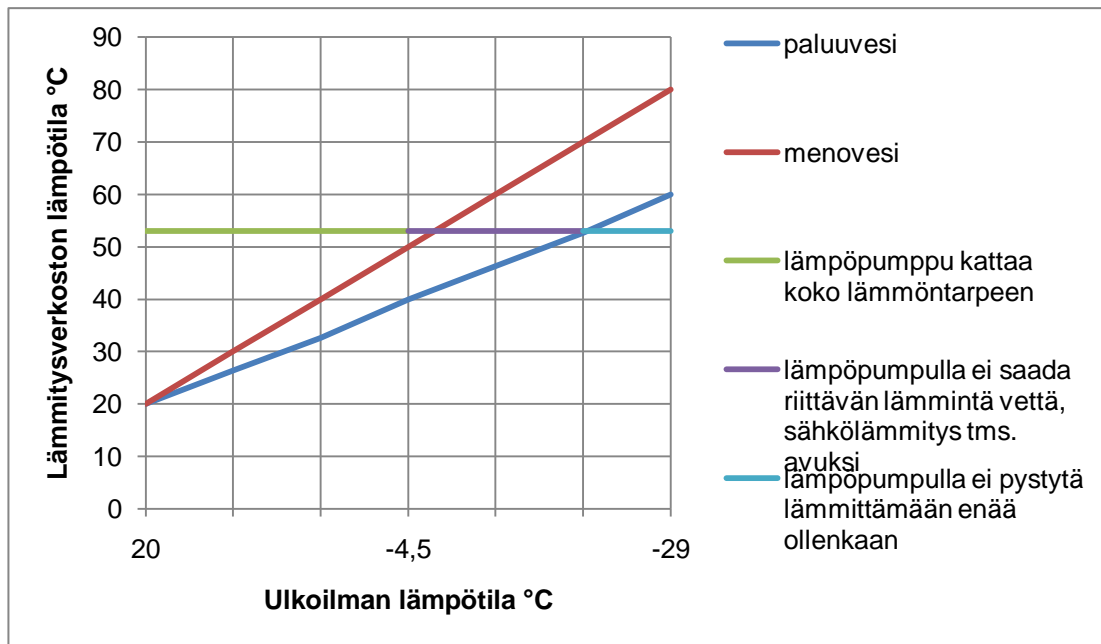
KUVA 16. Heat-pipe-lämpöputken sisältävän tyhjiöputken halkileikkaus (16, s. 73)

4.3 Kohdekohtaiset lämmitysjärjestelmävaihtoehdot

4.3.1 Alskathemmet

Kohteen öljylämmityslaitteiston 30 vuotta vanhat kattilat ovat ohittaneet jo 20–25 vuoden teknisen käyttöikänsä, minkä vuoksi ne alkavat olla uusimistarpeessa. Muilta pääosiltaan järjestelmä on käyttökuntoinen vielä vuosia (17, s. 8). Vaihtoehdoksi öljykattiloiden uusimiselle on suunniteltu koko lämmöntuotantotavan muuttamista maalämmitykseksi.

Lämmitysverkoston öljylämmitykseen suunniteltu lämpötilaohjelma 80/60 °C aiheuttaa ongelmia matalia lämpötilatasoja suosivan maalämmityksen suunnitteluun ja kannattavuuteen. Maalämpöpumpulla voi hyvällä hyötysuhteella tehdä korkeintaan 50–55 °C:sta vettä. Vanhassa lämpötilaohjelmassa menoveden lämpötila on 50 °C, kun ulkolämpötila on noin –5 °C. Tätä kylmemmällä ilmalla pitää lämpöpumpun avuksi ottaa käyttöön sähkövastukset (kuva 17). Lisäksi maalämpöpumpun lauhtumislämpötila nousee ja lämpökerroin pienenee, kun ulkolämpötila edelleen laskee ja paluuveden lämpötila nousee. Paluuveden lämpötila 50 °C saavutetaan ulkolämpötilalla noin –17 °C, josta kylmemmällä lämmitys tapahtuisi kokonaan sähköllä.



KUVA 17. Öljylämmityksen lämpötilaohjelman 80/60 °C periaatteellinen vaikutus maalämpöpumpun toimintaan lauhtumislämpötilalla 53 °C.

Kun matalalämpötilainen lämmönjakojärjestelmä mitoitetaan 50 %:n osateholle, maalämpöpumpun vuotuisen lämmitysenergian tarpeen peitto on noin 90 %. Tällöin lämpöpumppu käy täydellä teholla myös huippupakkasilla. Jos lämpöpumppu on mitoitettu 50 %:n osateholle, ja sen käyttö loppuu korkeiden lämmitysverkostojen lämpötilojen vuoksi jo noin -17 °C :n ulkolämpötilassa, lämpöpumpulla katetaan lämmitysenergian tarpeesta vain noin 67 %. Sähkölämmityksen osuus on laskettu ulkoilman lämpötilan pysyvyyskäyrän perusteella, vertaamalla sähkölämmityksen tarvitsemaa astepäivälukua koko vuoden astepäivälukuun (2, s. 66).

Maalämmitykseen siirtymisen yhteydessä voi lämmitysjärjestelmän lämpötilojen laskeminen olla kannattavaa. Lähtökohtana toimii majoitusrakennuksen uuden ilmanvaihtokoneen lämmityspatteri, joka on mitoitettu lämpötilaohjelmalle 60/40 °C. Jos lämmitysverkoston lämpötilatasoja alennetaan, niin osatehomitoitettua lämpöpumppua voidaan käyttää täydellä teholla myös huippupakkasilla. Jos kohde mitoitettaisiin täystehoiselle maalämpöjärjestelmälle,

saisi lämmitysjärjestelmän suurin menoveden lämpötilaa olla korkeintaan 55 °C.

Meno- ja paluulämpötilojen lasku pudottaa pattereiden pintalämpötilaa. Lämmityspatterin luovuttama teho riippuu oleellisesti patterin keskimääräisen pintalämpötilan ja huoneen sisälämpötilan välisestä patterin keskimääräisestä yllilämpötilasta. Vanhojen pattereiden teho putoaa uudella lämpötilaohjelmalla merkittävästi. Tehon alenemisen voi laskea kaavalla 13 (6, s. 165–167).

$$\frac{\phi_{60/40}}{\phi_{80/60}} = \left(\frac{\frac{T_m + T_p}{2} - T_s}{\frac{T_m + T_p}{2} - T_s} \right)^{0,25} \left(\frac{\frac{T_m + T_p}{2} - T_s}{\frac{T_m + T_p}{2} - T_s} \right) * 100 \% \quad \text{KAAVA 13}$$

$\Phi_{60/40}$ = patterin teho meno-paluulämpötiloilla 60/40 °C

$\Phi_{80/60}$ = patterin teho meno-paluulämpötiloilla 80/60 °C

T_m = menoveden lämpötila, °C

T_p = paluuv veden lämpötila, °C

T_s = sisäilman lämpötila, °C

$$\frac{\phi_{60/40}}{\phi_{80/60}} = \left(\frac{50 - 20}{70 - 20} \right)^{0,25} \frac{50 - 20}{70 - 20} \approx 0,528 * 100 \% \approx 53 \%$$

Alkuperäisistä pattereista saadaan alennetuilla lämmitysverkoston lämpötiloilla vain noin puolet suunnitellusta huipputehosta. Tilat eivät lämpiä riittävästi kovalla pakkasella, jolloin osa pattereista on vaihdettava suurempiin. Tilojen lämmöntarve sekä radiaattorit saattavat kuitenkin olla huomattavan ylimitoitettuja, joten jokaisen patterin tehon riittävyys tulisi tarkastella erikseen, ja uusia ensin vain kriittisimpien tilojen patterit.

Päärakennuksen ilmanvaihtosaneeraus on tärkeä tekijä maalämmitystä suunniteltaessa, koska nykyisen lämmityspatterin pinta-ala ei riitä alennetuilla

la lämpötilatasoilla. Uusi ilmanvaihtokone pienentäisi koko leirikeskuksen lämmitysenergian tarvetta nykyisestä noin 22 % pelkästään pyörivän lämmöntalteenoton ansiosta. Lämmönkeruuputki lyhenisi ja uuden ilmanvaihtokoneen lämmityspatteri voitaisiin mitoittaa suoraan maalämmityksen lämpötilaohjelmalle. Porakaivoilla toteutettu maalämmitys taas mahdollistaisi pääarakennuksen kesäaikaisen viilennyksen ilmastointikoneen kautta hyvin matalilla lisäkustannuksilla.

Maalämmön hyödyntämistavoista selvitetään lämpökaivoratkaisu ja lämmönkeruuputkiston upottaminen merenpohjaan. Merenpohjan sedimenttiin vaakaporaustekniikalla asennettava lämmönkeruuputkisto jätetään pois sen kalteuden ja kivikkoiseen merenpohjaan soveltumattomuuden takia (10). Perinteinen vaakaputkisto soveltuu huonosti näin suureen kohteeseen, koska keruuputkiston pituudeksi tulisi useita kilometrejä, ja se vaatisi suuren maa-alueen. Tontilta ei löydy riittävän suurta vaakaputkistolle soveltuvaa aluetta, joten sekin jätetään laskelmista pois.

Maalämmöllä lämmitettäisiin myös käyttövesi. Jos maalämpöjärjestelmää ei rakenneta, käyttöveden sähköenergian tarpeen pienentämiseen sopivat myös ilma-vesilämpöpumppu ja aurinkokeräimet, joille ei kuitenkaan tehdä tässä työssä kannattavuuslaskelmia.

4.3.2 Lepikko

Lepikon tilat lämmitetään suoraan sähköpattereilla, joten sähkönkulutusta voidaan vähentää helpoiten ilmalämpöpumppujen avulla. Niitä on kuitenkin asennettava harkiten, koska sisäyksiköt tuottavat ääntä ja lämmön on päästävä leviämään tasaisesti tiloihin. Lämmönsäästölaskelmiin on valittu neljä tilaa, jotka ovat tarpeeksi avoimia, ja joissa ilmalämpöpumppujen äänet aiheuttavat mahdollisimman vähän häiriötä. Lepikon leirikeskukseen on laadittu arvio myös maalämmitykseen siirtymisen kannattavuudesta. Lisäksi suurimmalle varaajalle on tehty laskelma aurinkolämmityksen kannattavuudesta.

Lepikon pääarakennuksen lämmin käyttövesi tehdään sähköllä kolmessa lämminvesivaraajassa. Varaajat ovat vuodelta 1983, joten niiden tekninen

käyttöikä alkaa olla lopussa. Varaajia uusittaessa niihin voitaisiin liittää ilma-vesilämpöpumput, aurinkokeräimet tai hybridiratkaisussa molemmat. Lämpöpumpun tuottamaa energiaa voisi käyttää käyttöveden lisäksi myös lämmitykseen esimerkiksi puhallinpattereiden välityksellä.

4.3.3 Österhankmo

Österhankmossa kaikki tilat lämmitetään sähköllä joko suoraan lämmityspattereilla tai lattialämmityksellä, joten lämmityksen tueksi soveltuvat hyvin ilma-ilmalämpöpumput. Laskelmiin on valittu yleisiä tiloja, jotka soveltuvat hyvin ilmalämpöpumppulämmitykseen ja joissa pienestä äänestä ja vedosta ei aiheudu merkittävää haittaa.

Käyttöveden energiankulutus on niin suurta, että veden lämmitykseen voisi mahdollisesti käyttää jopa maalämpöpumppua. Maalämpöpumpun hyödyntämisen ongelmana on kuitenkin se, että suurin osa energiasta menee lämpimän veden kiertoon, jolloin palaavan veden lämpötila on lämpöpumpulle liian korkea. Vaihtoehtoina lämpimän käyttöveden energiankulutuksen pienentämiseen voisi olla myös veden esilämmittäminen ilma-vesilämpöpumpun tai aurinkokeräinten avulla. Nämä vaihtoehdot rajataan kuitenkin kannattavuuslaskelmien ulkopuolelle.

5 KUSTANNUSLASKELMAT JA TAKAISINMAKSUAJAT

Energiansäästöinvestoinneille on laskettu koroton takaisinmaksuaika, jonka perusteella kannattavuutta on arvioitu. Kaikki laskelmissa käytetyt hinnat sisältävät arvonlisäveron. Sähkön hintana on käytetty 1.1.2011 päivitettyä L2-käyttäjryhmän hintaa 11,71 snt/kWh (18). Polttoöljyn hintana on käytetty 15.1.2011 päivitettyä kuluttajahintaa 104,8 snt/kWh (19). Polttoöljyn hinta on noussut viimeisen vuoden aikana erittäin voimakkaasti. Hinta tuskin tulee pysymään pitkään näin korkeana, joten Alskathemmetin maalämpölaskelmiin otetaan mukaan myös vuoden takaiset sähkön ja öljyn hinnat. Ne ovat paremmin tasapainossa keskenään pitkällä aikavälillä tarkasteltuna.

Maalämpölaitteiden hinnat on saatu laitevalmistajalta ja lämmönkeruuputkistojen hinnat niitä asentavilta yrityksiltä. Lämmönkeruuputkistojen hinnat sisältävät myös asennukset ja lämmönkeruunesteet. Lämpökaivon hinta on pyöristetty laskelmiin 30 euroksi kaivometriä kohden.

Pienen lämmöntarpeen tiloihin riittää perusmallin ilmalämpöpumppu, jollaisia käytetään paljon asuntojen lämmittämiseen. Näiden ilmalämpöpumppujen keskihintana käytetään 1 900 euroa, joka on ilmalämpöpumpun kokonaishinta asennettuna (20). Joihinkin tiloihin on hankittava suurempi ilmalämpöpumppu tai usealla sisäyksiköllä toimiva multisplit-ilmalämpöpumppu, joiden hinnat ovat arvioita.

5.1 Alskathemmet

Alskathemmetin laskelmat on tehty suoraan öljylämmityksen lämpötilaohjelmalle 80/60 °C sekä 50 %:n että 60 %:n osateholämpöpumpuille. 50 %:n tehonpeitossa lämpökertoimena on käytetty lukua kolme ja sähkölämmityksen osuutena 33 %:a. 60 %:n tehonpeitossa lauhtumislämpötila nousee ja lämpökerroin laskee 2,7:ään, sähkölämmityksen osuuden ollessa 19 %.

Lisäksi maalämpöpumppujärjestelmän takaisinmaksuaika on laskettu alennetuille lämpötilaohjelmille. 50 %:n osateholla toimivan järjestelmän lämpötilaohjelma on 60/40 °C, lämpökerroin 3 ja sähkölämmityksen osuus kahdeksan prosenttia. Mukana on myös täystehoinen maalämpö, jonka lämpötilaohjelma on 55/40 ja lämpökerroin 2,7. Alennetut lämpötilaohjelmat edellyttävät päärakennuksen ilmanvaihtoremontin, joten sen kustannukset ovat mukana laskelmissa (21). Maalämpöjärjestelmien hinnoista on vähennetty öljykattilan uusimisen aiheuttamat kustannukset. Maalämpöjärjestelmien kustannukset ovat liitteessä 3.

Öljylämmityksen vaihtaminen maalämpöön aiheuttaa itse maalämpöjärjestelmän ja sen asentamisen lisäksi kustannuksia sähköistykseen. Maalämpöön siirryttäessä sähköliittymän tehoa joudutaan korottamaan, sähkönsiirron perusmaksu kasvaa ja sähköpääkeskukseen tulee muutoksia. Jos tähän kohteeseen asennetaan osatehoinen maalämpöjärjestelmä, pääsulakkeita joudutaan kasvattamaan monta kokoluokkaa ja myös tonttikaapeli joudutaan vaihtamaan. Täystehoiselle järjestelmälle riittää vanha tonttikaapeli. Uudet sähköliittymäkoot, liittymishinnat ja sähkönsiirron perusmaksut on saatu Vaasan sähköverkko Oy:stä ja muut hinnat on arvioitu (liite 3).

Kustannuslaskelmiin on lisätty herkkyystarkastelut, joissa otetaan huomioon sähkönsiirron ja öljyn hinnan vaihteluita. Alskathemmetiin sopivien maalämpövaihtoehtojen takaisinmaksuajat ovat liitteessä 4. Sähkönsiirron hintamuutosten vaikutukset maalämmön takaisinmaksuajaksi selviävät liitteestä 5.

5.2 Lepikko

Tilojen vuotuiset energiantarpeet on laskettu kaavalla 5 tehontarpeen perusteella. Takaisinmaksuaika on laskettu vuotuisille energiansäästökertoimille 0,4, 0,5 ja 0,6 (taulukko 6).

TAULUKKO 6. Ilmalämpöpumppujen takaisinmaksuajat

			Energiansäästö 40 % / a	Energiansäästö 50 % / a	Energiansäästö 60 % / a
Tila	Teho kW (-29 °C)	Energia (kWh/a)	Takaisinmaksu- aika a	Takaisinmaksu- aika a	Takaisinmaksu- aika a
033 Ryhmätyöskentely	2	4494	9,0	7,2	6,0
041 Aula	2,3	5169	7,8	6,3	5,2
040 Monitoimitila I	3	6742	6,0	4,8	4,0
040 Monitoimitila II	4,2	9438	4,3	3,4	2,9

Maalämpöön siirtymiseen tarvitaan sähköpattereiden tilalle vesikiertoinen lämmönjakojärjestelmä, jonka hinta on laskettu patterilämmitykselle (21). Maalämpöpumpun hinta on saatu laitevalmistajalta, asennuksen hinta on arvioitu ja lämmönkeruun hinta on laskettu lämpökaivoilla toteutettuna. Laskelmat on koottu taulukoksi 7.

TAULUKKO 7. Lepikon lämmitysmuodon muuttaminen maalämpöön

Lepikon maalämpölaskelma		
Sähköenergia sähkölämmitys	95730	kWh/a
Sähköenergia maalämpö COP=3	31910	kWh/a
Sähköenergian säästö	63820	kWh/a
Rahallinen säästö	7473	€/a
Remontti	39000	€
Suunnittelu	3000	€
Maalämpölaitteet	17000	€
Asennus	3000	€
Lämmönkeruu lämpökaivoilla	27762	€
Yhteensä	89762	€
Takaisinmaksuaika	12,0	vuotta

Aurinkolämmitysjärjestelmä Lepikkoon on mitoitettu suurimman varaajan tilalle Alskathemmetistä tehdyn mitoituksen tunnuslukujen perusteella, koska molempien leirikeskusten lämpimän veden käyttö on hyvin samankaltaista (taulukko 8) (22). Keräinten vuosituottona käytetään 313 kWh/m² ja kateasteena 57,5 % veden lämmityksen ja varaajahäviöiden tarvitsemasta energi-

asta. Keräinpinta-alaa tarvitaan noin 19 m² ja varaajan tilavuuden täytyy olla vähintään 1,5 m³. Aurinkolämmitysjärjestelmien hinnat on arvioitu.

TAULUKKO 8. Aurinkolämmitysjärjestelmän takaisinmaksuaika Lepikon suurimman lämminvesivaraajan tilalle

Aurinkolämpöjärjestelmä		
Lkv:n energiankulutus	10 300	kWh/a
Energiansäästö	5923	kWh/a
Säästö	694	€/a
Keräinpinta-ala	18,9	m ²
Varaajan koko	1,5	m ³
Järjestelmän hinta ilman varaajaa	7 500	€
Asennus	1 000	€
Yhteensä	8 500	€
Takaisinmaksuaika	12,3	vuotta

Käyttövesivaraajan voi korvata ilma-vesilämpöpumppujärjestelmällä, jolloin käyttöveden lämmittämisestä ylijäävä lämpö jaetaan puhallinpattereilla tiloihin. Tämän voi toteuttaa myös maalämpöpumpulla, jolloin hyötysuhde pysyy korkeana myös kovalla pakkasella. Karkea kannattavuusarvio on laskettu maalämpöjärjestelmän mukaan, kun on oletettu molempien järjestelmien takaisinmaksuajan olevan saman (taulukko 9). Maalämmön suurempi säästö korvaa ilma-vesilämpöpumppua suuremman hankintahinnan. Hinnat on arvioitu ja takaisinmaksuaika on suuntaa-antava.

TAULUKKO 9. Lepikon suurimman varaajan korvaaminen maalämpöpumpulla

Maalämpö puhallinpattereilla		
Energiaa lämpökaivosta 200m	20000	kWh
Lämmitysenergia MLP:lla COP=4	26667	kWh
Sähköä	6667	kWh
Lämmitysteho	12	kW
Lämpökaivo	6000	€
Lämpöpumppu	8000	€
Asennus	1000	€
Suunnittelu	1500	€
Puhallinpatterit + putket	4000	€
Yhteensä	20500	€
Säästö	2342	€/a
Takaisinmaksuaika	8,8	a

5.3 Österhankmo

Österhankmon energiansäästö ja takaisinmaksuaika on laskettu viiteen tilaan valituille ilma-ilmalämpöpumpuille (taulukko 10). Takkahuoneeseen on valittu normaalia tehokkaampi yhden sisäyksikön ilmalämpöpumppu ja kahdelle suurimmalle tilalle multisplit-laitteisto kahdella sisäyksiköllä.

TAULUKKO 10. Ilmalämpöpumppujen takaisinmaksuajat

				Energiansäästö 40 % / a	Energiansäästö 50 % / a	Energiansäästö 60 % / a
Tila	Teho kW (-29 °C)	Energia (kWh/a)	Laitteiston hinta €	Takaisinmaksuaika a	Takaisinmaksuaika a	Takaisinmaksuaika a
02 Aula	7	15730	4000	5,4	4,3	3,6
26 Luokka	4,5	10112	1900	4,0	3,2	2,7
28 Ryhmät.	4,4	9888	1900	4,1	3,3	2,7
55 Takka-huone	6,6	14831	3000	4,3	3,5	2,9
56 Ruokasali	7,7	17303	4000	4,9	3,9	3,3

5.4 Energiatuki

Energiatukea voidaan myöntää tapauskohtaisen harkinnan perusteella työ- ja elinkeinoministeriöstä hankkeisiin, jotka lisäävät uusiutuvan energian käyttöä, säästävät energiaa, tehostavat energiantuotantoa tai pienentävät energian käytön ympäristöhaittoja. Energiatuen osuus voi olla uusiutuviin energianlähteisiin ja energiatehokkuuteen liittyvissä investoinneissa enintään 30 % hyväksyttävistä kustannuksista tavanomaisia teknologioita käyttämällä. Tuki haetaan siitä elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksesta, jonka toiminta-alueella investointikohde sijaitsee. Tuki on haettava ennen hankkeen aloittamista. (23; 25; 26.)

Leirikeskusten investoinneissa uusiutuvan energian käyttöön liittyvää tukea saa ainakin maalämpöjärjestelmiin. Tavanomaisen teknologian energiaa säästävänä hankkeena voisi pitää Alskathemmetin ilmanvaihtosaneerausta, jossa on suuri energiansäästömahdollisuus. Tuen saaminen tähän hankkeeseen edellyttää energiatehokkuussopimusjärjestelmään kuulumista. Investointitukia ei ole laskettu mukaan järjestelmien takaisinmaksuaikoihin. Nämä tuet ovat merkittäviä, joten ennen päätöksentekoa ne kannattaa selvittää tarkasti. (24.)

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Alskathemmetin lämmitysmuoto on nykyisillä öljyn ja sähkön hinnoilla erittäin kannattavaa muuttaa maalämpöön. Suoraan öljylämmityksen tilalle sitä ei kuitenkaan kannata tehdä, vaikka 50 %:n osatehoisen järjestelmän koroton takaisinmaksuaika on tällä hetkellä lyhyt, vaihdellen välillä 4,1–6,3 vuotta lämmönkeruutavan mukaan. Korkeat lämmitysverkoston lämpötilat aiheuttavat sen, että lämpöpumppua ei voida käyttää kovilla pakkasilla ollenkaan. Leirikeskus olisi täysin sähkölämmitteinen silloin, kun sähkön hinta on korkeimmillaan. Herkkyystarkastelu osoittaa, että kannattavuus on hyvin altis sähkön hinnan nousulle. Jo muutaman sentin sähkön hinnannousu tekee järjestelmästä kannattamattoman, jos öljyn hinta tasaantuu pitkäaikaisen tason tuntumaan.

Maalämpöön siirtymisen yhteydessä on järkevää tehdä myös päärakennuksen ilmanvaihdon perusparannus, joka mahdollistaa lämmitysverkoston lämpötilojen laskun, kesäaikaisen jäähdytyksen ja tuottaa suuren energiansäästön. Ilmanvaihtosaneerauksen ja maalämmityksen yhteinen takaisinmaksuaika on tämän hetken öljyn ja sähkön hinnoilla 50 %:n osatehojärjestelmällä 5,7–7,2 vuotta lämmönkeruutavan mukaan. Vuotuinen säästö on noin 8 800 euroa suurempi kuin ilman saneerausta, joten Ilmanvaihtoremontille laskettu takaisinmaksuaika on 9 vuotta. Ilmanvaihtosaneerauksen kanssa samaan aikaan tehty maalämmitysjärjestelmä muodostuu kannattavammaksi tilanteessa, jossa öljyn hinta tasaantuu pitkäaikaisen arvon tasolle, mutta sähkö kallistuu voimakkaasti. Tällöin yhdistetyllä ilmanvaihto- ja maalämpöinvestoinnilla on lyhyempi takaisinmaksuaika, kuin pelkällä maalämpöön siirtymisellä. Silloin investointien takaisinmaksuaika kuitenkin pitelee huomattavasti.

Lämmitysverkoston lämpötilanlaskun suurin este on tehon riittävyys päärakennuksen ilmanvaihtokoneen lämmityspatterissa. Majoitusosaan tehty ilmanvaihtosaneeraus mahdollistaa lämpötilojen laskun ja tuo samalla lämmön talteenoton myötä noin 11 % kokonaislämmitysenergiesäästön

alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna. Päärakennuksen ilmanvaihtosaneerauksen myötä kokonaislämmitysenergiantarve laskisi nykyisestä tilanteesta vielä 22 %, jolloin ilmanvaihtokoneiden lämmön talteenotot olisivat tuoneet yhteensä noin 30 % energiansäästön alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna.

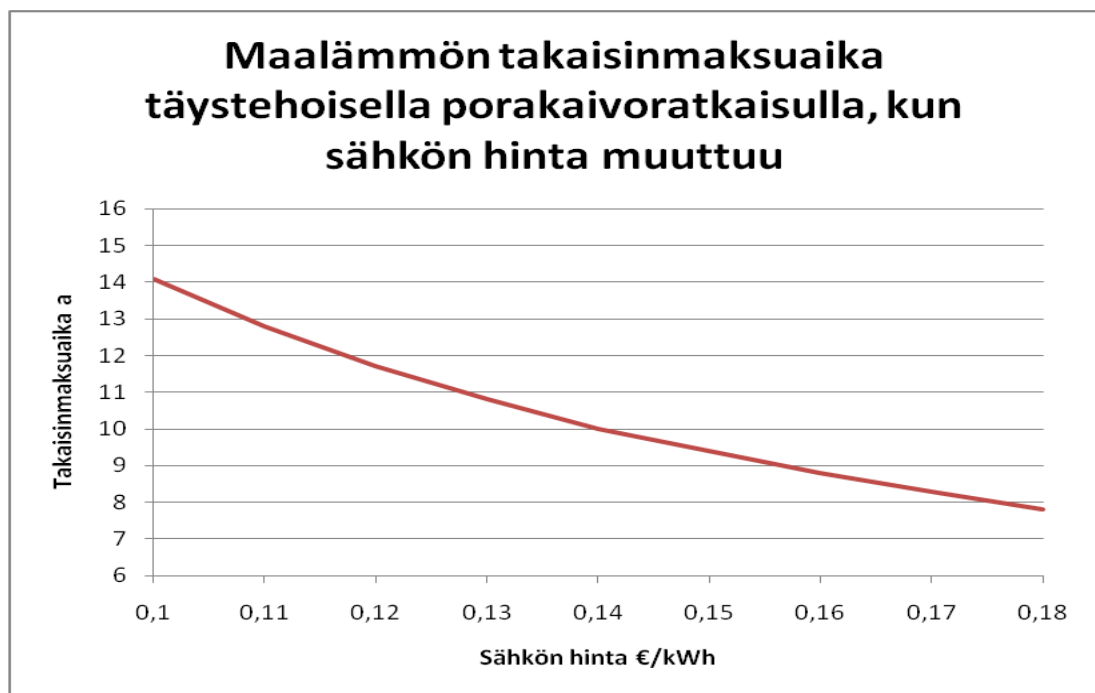
Lämmitysverkoston lämpötilojen alentaminen aiheuttaa sen, että lämmityspattereiden tehot saattavat loppua kesken. Silloin pattereita on uusittava tarpeen vaatiessa, mutta tätä ei ole otettu huomioon laskelmissa. Takaisinmaksuaika pitenee merkittävästi, jos pattereita on uusittava paljon.

Osa- ja täystehoisten järjestelmien säästöissä ja takaisinmaksuajoissa ei ole suuria eroja, koska täystehoisen järjestelmän korkeampi lauhtumislämpötila laskee lämpökerrointa verrattuna osatehoiseen järjestelmään. Tulokset pätevät tilanteessa, jossa lämmitysverkoston lämpötilat ovat korkeat. Täystehoisen järjestelmä on edullisin silloin, kun sähkön hinta nousee merkittävästi tai kun se on kallista huippukulutusaikaan kovalla pakkasella.

Lämmönkeruuputkiston sijoittamisella vesistöön saavutetaan laskelmien mukaan lyhyempi takaisinmaksuaika kuin lämpökaivoratkaisulla, koska investointi on halvempi. Vesistön olisi kuitenkin oltava melko syvä heti rannassa, mutta Alskathemmetin rantavedet ovat ilmeisesti pitkälle matalia. Putket jouduttaisiin tällöin kaivamaan merenpohjaan, mikä lisäisi kustannuksia. Lisäksi matala vesistö jäähtyy talvella lähelle 0 °C:ta varsinkin jäidentulon viivästyessä. Tällöin lämpöpumpun höyrystyslämpötila olisi matalampi ja lämpökerroin pienempi kuin lämpökaivoratkaisussa, jos kaivoissa olisi runsas vedentuotto ja vakaa muutaman asteen lämpötila.

Maalämpöinvestoinnissa on erilaisia muuttujia niin paljon, että joka tilanteeseen halvinta ja parasta järjestelmää on mahdotonta valita. Maalämpöjärjestelmää suunniteltaessa on aina selvitettävä tapauskohtaisesti optimaalinen lämmönkeruutapa ja lämpöpumpun tehonpeitto, parhaat lämmitysverkoston toimintalämpötilat ja mahdollinen lisälämmitys.

Lepikon maalämpöinvestoinnille ei löydy tämänhetkisellä sähkön hinnalla taloudellisia perusteita, koska korottomaksi takaisinmaksuajaksi muodostuu porakaivoilla toteutetulle täystehoiselle maalämpöjärjestelmälle 12,0 vuotta. Takaisinmaksuajan olisi pitänyt olla erittäin lyhyt, liikkuen muutamissa vuosisissa, jotta hanketta olisi lähdetty viemään eteenpäin. Alle kymmenen vuoden takaisinmaksuikaan päästään sähkön hinnan ylittäessä 14 senttiä kilowattitunnilta (kuva 18).



KUVA 18. Sähkön hinnan vaikutus Lepikon maalämmön takaisinmaksuikaan

Ilmalämpöpumput eivät sovellu sokkeloihin ja paljon erillisiä huoneita sisältäviin tiloihin, joita on leirikeskuksissa paljon. Niistä löytyy toisaalta myös avoimia, yleisiä tiloja, joiden lämmitykseen ilmalämpöpumput soveltuvat hyvin. Jotta takaisinmaksuajasta muodostuu kannattava, on tilan tehon- ja energiantarve on oltava riittävän suuri, ja siihen on valittava tehokas ja hyväällä hyötysuhteella toimiva lämpöpumppu.

Ilmalämpöpumpun oikea käyttö on olennaista, jotta säästöä saavutetaan. Laitteistoa käyttävä henkilö on perehdytettävä hyvin lämmitysjärjestelmien vaatimiin säätötoimenpiteisiin. Myös säännöllinen huolto on tärkeää, jotta laitteiden toimintakyky säilyy hyvänä.

Lepikon leirikeskuksen monitoimitiloihin kannattaa asentaa lämmitysenergian säästämiseksi kaksi ilmalämpöpumppua. Niiden yhteinen takaisinmaksuaika on noin 4 vuotta, jos tilojen lämmitysenergiesäästöksi oletetaan 50 %. Lämmityksen sähkönsäästöksi tulee näillä kahdella lämpöpumpulla noin kahdeksan prosenttia.

Österhankmon leirikeskuksessa on laajoja ilmalämpöpumppulämmitykseen soveltuvia tiloja. Esillä on viisi tilaa, joihin kaikkiin kannattaa asentaa ilmalämpöpumppu. Suurimmat tilat vaativat kahden sisäyksikön laitteiston. Takaisinmaksuajat ovat 50 %:n energiasäästöllä 3,2–4,3 vuotta ja lämmitys-sähkön kokonaissäästöksi muodostuu noin 20 %, joka on merkittävä säästö.

Ilma-vesilämpöpumpuilla voisi korvata Lepikon leirikeskuksen vanhentuvat lämminvesivaraajat. Suurimman varaajan tilalle voisi harkita jopa maalämpöpumppua. Nämä eivät kuuluneet työn ydinalueeseen, joten energiasäästöt ja takaisinmaksuajankin ovat vain arvioita. Oletuksena on tässä käytetty ilma-vesilämpö- ja maalämpöpumpulle yhtä pitkää takaisinmaksuaikaa, maalämpöjärjestelmän suuremman säästön kompensoidessa korkeamman hankintahinnan. Paras hyöty saadaan, kun käyttöveden lämmityksestä ylijäävällä lämmöllä lämmitetään tiloja puhallinpattereiden välityksellä. Laskelma on tehty pelkästään maalämpöpumpulle ja takaisinmaksuajaksi muodostui 8,8 vuotta.

Aurinkolämmityksen kannattavuus laskettiin Lepikon suurimmalle varaajalle. Varaajaa uusittaessa siihen on helppo liittää aurinkolämmitys, mutta sen takaisinmaksuaika on pitkä, 12,3 vuotta. Aurinkolämmitys ei ole taloudellisesti kovin kannattavaa, mutta saasteettomuutensa ansiosta sillä on suuri imago nostava arvo.

7 YHTEENVETO

Työn kohteena oli kolme haja-asutusalueella sijaitsevaa leirikeskusta, joiden energiankulutusta pyrittiin pienentämään ja lämmöntuotannon ekologisuutta parantamaan. Öljylämmitteisen leirikeskuksen maalämpöön siirtymisen kannattavuutta verrattiin öljylämmityslaitteiston kunnostamiseen ja öljylämmityksellä jatkamiseen. Vanhemman sähkölämmitteisen leirikeskuksen maalämpöön siirtymisestä laskettiin kannattavuusarvio. Lisäksi sähkölämmitteisiin kohteisiin esiteltiin erilaisia lämpöpumppuratkaisuja ja yhden varaajan aurinkolämmitys.

Tulevia öljyn ja sähkön hinnanmuutoksia on vaikea arvioida. Laskelmista selviää, että erityyppisten lämpöpumppujärjestelmien kannattavuus on kuitenkin vahvasti sidoksissa energian hinnanmuutoksiin. Tämän hetken hinnoilla kannattavaksi laskettu investointi saattaa muuttua lyhyessäkin ajassa kannattamattomaksi energian hintojen heilahdellessa.

Alskathemmetin lämmitysmuoto on kannattavaa vaihtaa öljylämmityksestä maalämpöön. Lämmönkeruu vesistöstä on laskelmien perusteella edullisin vaihtoehto, mutta sen soveltuvuudesta ei ole tietoa. Jos merenranta on pitkälle matala, maalämmitys kannattanee toteuttaa lämpökaivoilla, joilla tataan vakaa energiansaanti, hyvä hyötysuhde ja edullisen jäähdytysmahdollisuus. Maalämpöpumpun tehonpeitolla 60–80 % ja lämmitysjärjestelmän lämpötilaohjelman laskulla saavutetaan todennäköisesti paras hyöty, jolloin sähkönhinnan voimakaskaan nousu ei mitätöi saavutettavaa säästöä. Päärakennuksen ilmanvaihtoon kannattaa tehdä perusparannus lämmitysmuodon vaihtamisen yhteydessä, koska järjestelmä on jo teknisesti vanhanaikainen ja uusimisen tarpeessa. Perusparannuksella saavutetaan suuri energiansäästö ja paremmat sisäilmasto-olosuhteet, ja lisäksi se mahdollistaa alennetun lämpötilaohjelman.

Suoran sähkölämmityksen leirikeskuksissa, Lepikossa ja Österhankmossa, energiaa säästetään yksinkertaisimmin ilmalämpöpumpuilla. Tiloilla on oltava riittävän suuri energiantarve, jolloin säästöä saadaan paljon ja takaisinmak-

suaika on riittävän lyhyt. Rajoituksia ilmalämpöpumppujen käyttöön aiheuttavat tilojen sokkeloisuus, lämpöpumppujen tuottama ääni ja myös rakennuksen ulkonäköseikat.

Sähkölämmitteisen leirikeskuksen aurinkolämmitys-, ilma-vesilämpöpumppu- ja maalämpöinvestoinneille ei löydy suoraan taloudellisia perusteita. Niissä on kuitenkin merkittävä energiansäästömahdollisuus. Ottamalla huomioon uusiutuvan energian tuoton tuet ja korostamalla sekä ympäristöarvoja että myönteistä imagoa päätöksiä tehtäessä saadaan näistäkin investoinneista helposti toteuttamiskelpoisia. Myös sähkön hinnan nousu voi muuttaa investoinnit kannattaviksi.

Tutkimuksen perusteella Vaasan seurakuntayhtymä voi tehdä päätöksiä mahdollisista tulevista investoinneistaan. Lämmitysjärjestelmävaihtoehtoja on tutkittu monelta eri kannalta ja niiden kannattavuutta on arvioitu myös energian hinnanvaihtelut huomioiden. Tutkimuksen tuloksia voi soveltaen hyödyntää myös muissa vastaavissa kohteissa. Työn tekeminen on vaatinut selvitystyötä kohteiden erityispiirteistä ja niihin soveltuvista ratkaisuista.

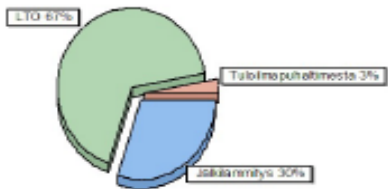
Alskathemmetin ja Lepikon leirikeskusten etäisyys on toisistaan vain reilut 0,5 kilometriä. Seuraava selvityksen aihe voisi olla Lepikon leirikeskuksen lämmityksen muuttaminen vesikiertoiseksi ja molempien leirikeskusten lämmöntuotannon keskittäminen yhteen laitokseen. Se voisi olla esimerkiksi hakkeella toimiva kiinteän polttoaineen laitos, jolloin lämmöntuotanto olisi uusiutuvaa.

LÄHTEET

1. Keijo Tamminen 2009. Alskathemmetin isäntä. Haastattelu 14.12.2009.
2. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2007. Rakennuksen energi-
ankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet. Ympäristöminis-
teriö.
3. IVP Desingner -mitoitushjelma. Saatavissa:
[http://www.ivprodukt.se/Documents/IVProdukt/Documents/IVP%20Desig
ner/Setup%20IVP%20Designer%2012.2.1.0%20u%20p.exe](http://www.ivprodukt.se/Documents/IVProdukt/Documents/IVP%20Desig
ner/Setup%20IVP%20Designer%2012.2.1.0%20u%20p.exe). Hakupäivä:
5.2.2011
4. Aittomäki, Antero 2001. Lämpöpumppulämmitys.
Saatavissa: <http://www.tut.fi/units/me/ener/julkaisut/LP-opas.PDF>. Haku-
päivä 3.4.2010
5. Hakala, Pertti - Kaappola, Esko. Kylmälaitoksen suunnittelu. 2. tarkistettu
painos. Opetushallitus.
6. Seppänen, Olli 2001. Rakennusten lämmitys. 2. päivitetty painos. Helsin-
ki: Suomen LVI-liitto ry.
7. LVI 11-10332. Lämpöpumput. 2002. Rakennustieto Oy.
8. SULPU. Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. 2010. Lämpöpumppujärjes-
telmän suunnittelu. Saatavissa:
<http://www.sulpu.fi/images/stories/pdf/LPjarjsuunnittelu.pdf>. Hakupäivä
24.3.2010.
9. Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. 2010. Maalämpöpumppu. Saatavis-
sa:
[http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Ite
mid=114](http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Ite
mid=114). Hakupäivä 24.3.2010.

10. Lieskoski, Mauri 2010. Toimitusjohtaja, Mateve Oy. Puhelinhaastattelu 24.3.2010
11. Mateve Oy – lämmönlähteet. Saatavissa:
<http://www.mateve.fi/index.php?sivu=laemmoenlaehteet>. Hakupäivä 20.2.2011
12. Motiva. 2008. Lämpöä ilmassa. Saatavissa:
http://www.motiva.fi/files/211/Lampoa_ilmassa_Lammitysjarjestelmat_ilmalampopumppu.pdf. Hakupäivä 15.11.2010.
13. Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. Ilma-ilmalämpöpumpun periaatekuva. Saatavissa:
http://www.sulpu.fi/images/stories/images/periaate_ilmailma.jpg. Hakupäivä 5.2.2011
14. Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. Ilma-vesilämpöpumpun periaatekuva. Saatavissa:
http://www.sulpu.fi/images/stories/images/periaate_ilmavesi.jpg. Hakupäivä 5.2.2011
15. Kaukora Oy. JÄMÄ Moon –ilma-vesilämpöpumppuesite. Saatavissa:
http://www.kaukora.fi/sites/default/files/kaukorafiles/esitteet/JAMA_Moon_0910_web.pdf. Hakupäivä 7.2.2011.
16. Erat, Bruno – Erkkilä, Vesa – Nyman, Christer – Peippo, Kimmo – Peltola, Seppo – Suokivi, Hannu 2008. Aurinko-opas aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen Yhdistys ry.
17. LVI 10-10403. Kevytöljylämmityslaitteiden uusiminen. 2006. Rakennustieto Oy.
18. Energiamarkkinavirasto. Sähkön hinnan kehitys. Saatavissa:
<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Kehitys1102.pdf>. Hakupäivä 7.2.2011.

19. Öljyalan keskusliitto. Kuluttajahintaseuranta. Saatavissa:
http://www.oil.fi/files/728_Kuluttajahintaseuranta.pdf. Hakupäivä
7.2.2011.
20. Kuluttajavirasto. Kuluttajaviraston hintavertailuja Ilmalämpöpumput. Saatavissa: http://www.kuluttajavirasto.fi/File/b8701abb-a52a-4d7e-b8e2-bf5afa07245f/090428_hintavertailu_ilmal%C3%A4mp%C3%B6pumput.pdf. Hakupäivä 5.2.2011.
21. Haahtela, Yrjänä 2010. Talonrakennuksen kustannustieto 2010. Helsinki: Haahtela-kehitys.
22. GetSolar 9.3 –ohjelmalla tehty aurinkosimulaatio.
23. Työ- ja elinkeinoministeriö – Energiatuki. Saatavissa:
<http://www.tem.fi/index.phtml?s=3091>. Hakupäivä 21.2.2011.
24. Työ- ja elinkeinoministeriö – Tuettavat hankkeet. Saatavissa:
<http://www.tem.fi/index.phtml?s=3092>. Hakupäivä 21.2.2011.
25. Työ- ja elinkeinoministeriö – Tuen enimmäismäärät. Saatavissa:
<http://www.tem.fi/index.phtml?s=3093>. Hakupäivä 21.2.2011.
26. Työ- ja elinkeinoministeriö – Hakeminen ja maksatus. Saatavissa:
<http://www.tem.fi/index.phtml?s=3094>. Hakupäivä 21.2.2011.

	Envistar Flex	Energialaskelma	
	Projekti	alskat	
	Ilmastointikone	majoitus	
	Koko	150	
Olosuhteet			
	TULOILMA	POISTOILMA	
Ilmavirta	0,96	0,62	m3/s
Kokonaispaine	537	409	Pa
Lämpötila	20	22	°C
Puh. hyötysuhde	0	0	%
Kokonaishyötysuhde	58	53	%
Vuosikeskilämpötila	3,7 °C	Mitoitus ulkolämp.	-29 °C
Sähköenergian hinta	0,08 € / kWh	Lämmitysenergian hinta	0,03 € / kWh
Käyttöaika	3 100 tuntia / vuosi	Käyttötapa	D 12 / 24 h
Lämmöntalteenotto	LTO-roottori	LTO Lämpötila hyötysuhde	59,6 %
ENERGIAN TALTEENOTTO			
Kokonaistarve	54 839 kWh (100%)		
Jälkilämmitys	16 092 kWh (30%)		
LTO	36 227 kWh (67%)		
Tuloilmapuhaltimesta	2 519 kWh (3%)		
			
KÄYTTÖENERGIATARVE			
Tuloilmapuhallin	2 759 kWh / a		
Poistoilmapuhallin	1 643 kWh / a		
Kokonais	4 402 kWh / a		
Käyttökulut		Liitännätehot	
Sähköteho puh.	352 € / a	Jälkilämmitys	20,54 kW (1,4 C -> 19 C)
Jälkilämmitys	482 € / a	Sähköteho puh.	1 kW (nto)
Kokonais	834 € / a		

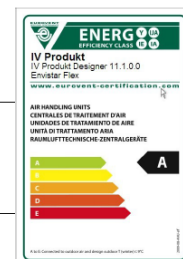


ALSKATHEMMETIN PÄÄRAKENNUKSEN LTO:N HYÖTYSUHDE

LIITE 2

Envistar Flex Energialaskelma

Projekti	alskat
Ilmastointikone	Nimetön1
Koko	190

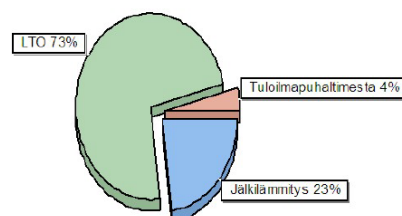


Olosuhteet

	TULOILMA	POISTOILMA	
Ilmavirta	1,77	1,35	m3/s
Kokonaispaine	605	506	Pa
Lämpötila	20	22	°C
Puh. hyötysuhde	68	71	%
Kokonaishyötysuhde	56	57	%
Vuosikeskilämpötila	3,7 °C	Mitoitus ulkolämp.	-29 °C
Sähköenergian hinta	0,1 € / kWh	Lämmitysenergian hinta	0,03 € / kWh
Käyttöaika	2 880 tuntia / vuosi	Käyttötapa	D 12 / 24 h
Lämmöntalteenotto	LTO-roottori	LTO Lämpötila hyötysuhde	65,5 %

ENERGIAN TALTEENOTTO

Kokonaistarve	93 935 kWh (100%)
Jälkilämmitys	20 942 kWh (23%)
LTO	67 916 kWh (73%)
Tuloilmapuhaltimesta	5 076 kWh (4%)



KÄYTTÖENERGIATARVE

Tuloilmapuhallin	5 558 kWh / a
Poistoilmapuhallin	3 744 kWh / a

Kokonais 9 302 kWh / a

Käyttökulut

Sähköteho puh.	930 € / a
Jälkilämmitys	628 € / a
Kokonais	1 558 € / a

Liitännätehot

Jälkilämmitys	31,19 kW (4,41 C -> 19 C)
Sähköteho puh.	3 kW (nto)

Maalämpöjärjestelmien kustannukset	80/60 °C, teho 50 %, COP 3	80/60 °C, teho 60 %, COP 2,7	60/40 °C, teho 50 %, COP 3	55/40 °C, teho 100 %, COP 2,7
Uusi sulakekoko	3 x 250 A	3 x 250 A	3 x 200 A	3 x 160 A
Sähkönsiirron perusmaksun ero nykyiseen € / a	534	534	534	154
Liittymismaksun ero nykyiseen €	9 964	9 964	7 033	4 688
Kytkenämaksu €	190	190	190	190
Tonttikaapelin uusiminen €	5 000	5 000	5 000	0
Sähkökeskus €	5 000	5 000	5 000	2 000
Lämpöpumput €	36 600	39 200	36 600	48 400
Tulistusvaraaja 3000l €	4 500	4 500	4 500	4 500
Asennus €	5 000	5 000	5 000	5 000
Ilmanvaihdon perusparannus €	0	0	79 000	79 000
Öljykattilan ja -polttimen uusimi- nen €	-10 000	-10 000	-10 000	-10 000
Yhteensä €	56788	59388	132857	133932
Lämpökaivot 30€/m	50 018	56 186	56 212	57 134
Yhteensä €	106 806	115 574	189 069	191 066
Keruuputket mereen 10€/m	27 675	30 327	30 339	30 778
Yhteensä €	84 463	89 715	163 196	164 710
Refla-putket mereen 17€/m	12 710	13 611	13 615	13 764
Yhteensä €	69 498	72 999	146 472	147 696

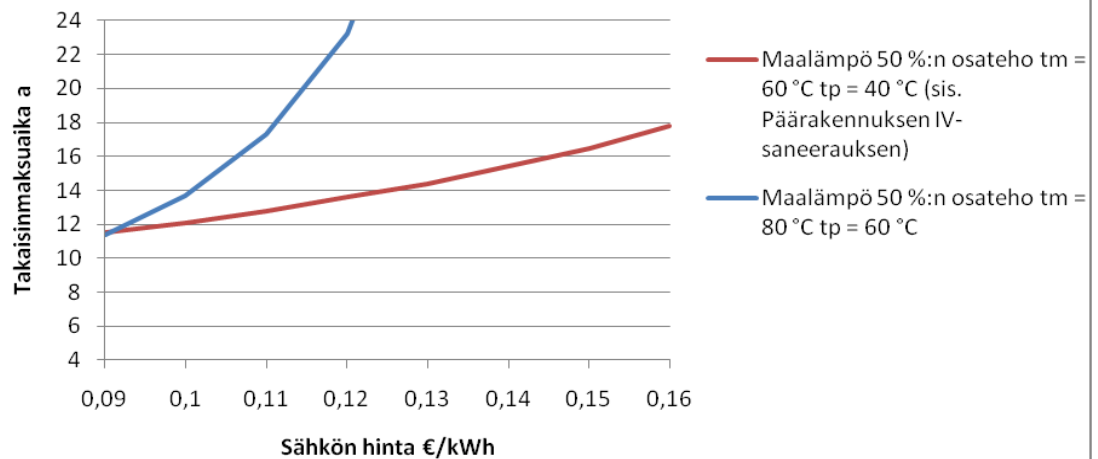
ALSKATHEMMETIN MAALÄMPÖINVESTOINTIEN
TAKAISINMAKSUAJAT

LIITE 4

Maalämpöjärjestelmien korot- tomat takaisinmaksuajat		$t_m = 80\text{ °C} /$ $t_p = 60\text{ °C}$ teho = 50 %	$t_m = 80\text{ °C} /$ $t_p = 60\text{ °C}$ teho = 60 %	$t_m = 60\text{ °C} /$ $t_p = 40\text{ °C}$ teho = 50 %	$t_m = 55\text{ °C} /$ $t_p = 40\text{ °C}$ teho = 100 %
Nykytilanne sähkö: 11,71 snt/kWh, öljy: 104,8 snt/dm ³					
	Säästö €/a	16 800	18 900	25 600	26 300
Takaisinmaksuaika a	Lämpökaivot	6,3	6,0	7,2	7,1
	Keruuputket mereen	5,0	4,7	6,3	6,2
	Refla-putket mereen	4,1	3,8	5,7	5,6
Vuodentakainen tilanne sähkö: 9,67 snt/kWh, öljy: 68,6 snt/dm ³					
	Säästö €/a	7 700	9 500	15 000	15 700
Takaisinmaksuaika a	Lämpökaivot	13,7	12,0	12,3	11,9
	Keruuputket mereen	10,8	9,3	10,7	10,4
	Refla-putket mereen	8,9	7,6	9,7	9,4
Herkkyys öljyn hinnannou- sulle sähkö: 10 snt/kWh, öljy: 130 snt/dm ³					
	Säästö €/a	28 000	29 800	35 600	36 200
Takaisinmaksuaika a	Lämpökaivot	3,8	3,8	5,2	5,2
	Keruuputket mereen	3,0	3,0	4,5	4,5
	Refla-putket mereen	2,5	2,4	4,1	4,1
Herkkyys sähkön hinnan- nousulle sähkö: 15 snt/kWh, öljy: 70 snt/dm ³					
	Säästö €/a	-147	2 500	11 200	12 000
Takaisinmaksuaika a	Lämpökaivot	ei koskaan	44,6	16,5	15,6
	Keruuputket mereen	ei koskaan	34,7	14,4	13,6
	Refla-putket mereen	ei koskaan	28,3	13,0	12,3
Herkkyys sähkön ja öljyn hinnannousulle sähkö: 15 snt/kWh, öljy: 130 snt/dm ³					
	Säästö €/a	20 200	22 900	31 500	32 300
Takaisinmaksuaika a	Lämpökaivot	5,2	5,0	5,9	5,8
	Keruuputket mereen	4,1	3,9	5,1	5,0
	Refla-putket mereen	3,4	3,2	4,6	4,5

ALSKATHEMMETIN MAALÄMMÖN TAKAISINMAKSUAIKAAN

**Maalämmön takaisinmaksuaika
porakaivoratkaisulla, kun sähkön hinta
muuttuu ja öljyn hinta pysyy vakiona,
0,7 €/dm³**



**Maalämmön takaisinmaksuaika
porakaivoratkaisulla, kun öljyn hinta
muuttuu ja sähkön hinta pysyy vakiona, 0,10
€/kWh**

